

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování



Dynamické vyvažování ventilátoru
Dynamic Balancing of Ventilator

Student:

Bc. Vít Pilát

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Blata

Ostrava 2010

Zadání diplomové práce

Student:	Bc. Vít Pilát
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace:	72 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma:	Dynamické vyvažování ventilátoru Dynamic Balancing of Ventilator.

Zásady pro vypracování:

Zpracujte metodický postup pro vyvažování oběžného kola ventilátoru. Proved'te závěrečné zhodnocení a porovnání provozních měření na daném zařízení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proved'te konkrétní provozní vyhodnocení.

Další bližší informace provede firma DIF spol. s r.o.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*, VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

FALC, R. – HELEBRANT, F. – HRABEC, L. – ŠEREMETA, L.: *Montážní a optická měření – ustavování strojů*.

HRABEC, L. – HELEBRANT, F. – MAZALOVÁ, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost – III. Ustavování strojů*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2007, 1. vydání, 92 s., ISBN 978 – 80 – 248 – 1449 – 0,

Rozsah práce: min. 40 stran textu mimo přílohy.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata**

Datum zadání: 10.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Poděkování:

Děkuji panu Ing. Radimovi Falcovi za přednesené informace k dané problematice, za poskytnutí firemních materiálů zabývajících se touto problematikou a pomoci při měření.

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě

.....

podpis studenta

Adresa trvalého pobytu studenta:

Vít Pilát

Králova Lhota 72

517 71 České Meziříčí

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

PILÁT, V. *Dynamické vyvažování ventilátoru*. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 70+25s. Diplomová práce, vedoucí: Ing. Jan Blata.

Diplomová práce se zabývá problematikou dynamického vyvažování rotačních součástí. V úvodu jsou popsány příčiny nevývahy, vlastnosti a druhy nevývahy. Další část je věnována metodám vyvažování, normám a korekcím nevývažků.

Vzhledem k rozsahu dané problematiky a důsledkům, které mají negativní vliv na provozní vlastnosti stroje, byl navrhnout pracovní postup pro vyvažování ventilátoru v jedné vyvažovací rovině, který slouží k demonstraci této problematiky a srovnání s výsledky provozních měření.

ANNOTATION OF THESIS

PILÁT, V. *Dynamic Balancing of Ventilator*. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2010, 70+25p. Thesis, head: Ing. Jan Blata.

My graduation theses is concerned with the questions (problems) of dynamic balancing of rotating components. In the introduction causes of unbalance, its qualities and types are described. Next part is devoted to the methods of counterbalancing, to the norms and corrections of unbalance.

With regard to the extent of the given questions (problems) and the results, that have negative impact on the functional qualities of the machine, was suggested working procedure for counterbalancing of the fan in one counterbalancing plane, which is instrumental for the demonstration of these questions (problems).

Obsah

Seznam použitého značení	9
1 Úvod	11
2 Základní pojmy z oblasti vyvažování	12
3 Nevývaha	12
3.1 Příčiny nevývahy	14
3.2 Význam vyvažování	15
3.3 Druhy nevyváženosti	15
4 Postup při provozním vyvažování	19
5 Metody provozního vyvažování	26
5.1 Zkusmá vyvažovací metoda	28
5.2 Vektorová (jednopolohová) metoda	30
5.3 Dvupolohová metoda	32
5.4 Třípolohová metoda	33
6 Způsoby korekce nevývažků	36
6.1 Odebírání nevývažků	36
6.2 Přidávání vývažků	38
6.3 Přípustný nevývažek	39
7 Měřicí přístroje	45
8 Aplikace Balancing v Micrologu CMVA10	49
8.1 Nastavení Micrologu CMVA10 pro vyvažování v 1 rovině	49
8.2 Modul měření	52
9 Normy pro vyvažování	54
10 Provozní vyvažování v praxi	56
10.1 Využití třípolohové metody	56
10.2 Využití vektorové (jednopolohové) metody	58
10.3 Měření z praxe: Měření, ustavení a vyvážení kompenzátoru Alice	63
Závěr	67
Seznam použité literatury	68
Seznam Příloh	70

Seznam použitého značení

<i>Symbol</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Význam</i>
A_{\max}	mm/s	Maximální amplituda vibrací
A_{\min}	mm/s	Minimální amplituda vibrací
A_N	mm/s	Amplituda vibrací nevyváženého rotoru
α	-	Příčinkový činitel
e	mm	Excentricita
ε_p	μm	Měrný nevývažek
F	N	Síla
f	Hz	Frekvence
FFT	-	Rychlá Fourierova transformace
φ_0	DEG	Fázový úhel
φ_1	DEG	Fázový úhel zkušebního chodu
g	m.s^{-2}	Tíhové zrychlení
M_1	kg	Hmotnost vyvažované součásti
M_2	kg	Hmotnost hlavního rotoru
m_n	g	Hmotnost nevývažku
m_k	g	Korekční závaží
m_v	g	Hmotnost vývažku
m_z	g	Zkušební závaží
m_w	g	Pomocné závaží
n	ot/min	Otáčky
N_p	g	Hmotnost přípustného nevývažku
r_v	mm	Vzdálenost nevývažku od osy rotace
r_w	mm	Poloměr pomocného vývažku udávající vzdálenost těžiště od osy rotace
T	-	Příčinkový činitel
TW	g	Zkušební závaží
ψ	DEG	Úhel umístění vývažku
ρ	kg.m^{-3}	měrná hmotnost
ω	rad.s^{-1}	Úhlová rychlost

v_{ef}	mm/s	Celková hodnota efektivní rychlosti
v_o	mm/s	Amplituda na první otáčkové frekvenci, nultý chod
v_1	mm/s	Amplituda na první otáčkové frekvenci, zkušební chod
W_t	g	Korekční závaží

1 Úvod

Nevývaha bývá velmi často jedním z diagnostikovaných problémů u rotačních strojů a má na svědomí velký počet závad, odstávek zařízení a také snížení životnosti stroje. S nevývahou souvisí mnoho negativních činitelů, které způsobují provozní nespolehlivost strojních zařízení. Indikovat a řešit tyto problémy má za úkol technická diagnostika.

Z předešlého odstavce je zřejmé, že našim prvotním úkolem je nevývaze předcházet. Pokud se nám nepodaří předejít nevývaze u rotačních zařízení, tak druhotným úkonem je diagnostika dané závady. Je nutno se ujistit, zda se opravdu jedná o nevývahu, dále určení typu nevývahy, velikosti a dalších potřebných parametrů. Po analýze následuje samotné vyvážení rotační součásti. V mé diplomové práci se budu zabývat návrhem metodického postupu pro vyvažování oběžného kola ventilátoru.

Nízká úroveň vibrací je důležitá z mnoha důvodů:

- z hlediska ekonomického je to prodloužení životnosti stroje a zkrácení doby prostojů na nutné opravy
- z hlediska technického přispívá klidný chod stroje k zajištění dlouhodobého a bezporuchového provozu; u výrobních strojů má velký vliv na kvalitu výrobků
- z hlediska fyziologického působí na obsluhu stroj daleko lépe, když pracuje tiše a bez vibrací



Obr. 1: Ložisko

2 Základní pojmy nevyváhy

Nevyváženost můžeme definovat jako stav, kdy osa setrvačnosti není shodná s osou rotace. Pokud se osa setrvačnosti shoduje s osou rotace, jedná se o vyvážený stav. Vyvážený stav však nemůže ve skutečnosti nikdy nastat, protože rotor nelze nikdy vyvážit zcela. V praxi tímto stavem označujeme stav, kdy zbytková nevyváženost rotoru je menší než přípustná hodnota nevyváženosti.

Další základní pojmy: [1]

Osa setrvačnosti

Osa tělesa procházející těžištěm k níž hmotnostní momenty setrvačnosti nabývají extrémních hodnot a deviační momenty jsou rovny nule.

Osa rotace

geometrické místo bodů otáčejícího se tělesa, které mají nulovou obvodovou rychlost.

Vyvažovací rovina

rovina kolmá k ose rotoru, ve které se přidává, ubírá nebo přemisťuje korekční hmota.

Měřicí rovina

Rovina kolmá k ose rotoru, ve které se měří informace o nevyváženosti rotoru.

Provozní vyvažování

Vyvažování rotoru ve vlastním rámu, vlastních ložiscích, při provozních otáčkách a za provozních podmínek. Měří se odezva vibrace na odstředivé síly (výchylka, rychlost nebo zrychlení).

Tuhý rotor

Rotor, který se za rotace nedeformuje působením odstředivých sil nevyvážek. Lze jej vyvažovat ve dvou libovolně zvolených rovinách.

Pružný rotor

Rotor, který není tuhý. Musí se vyvažovat ve více než dvou rovinách.

3 Nevývaha

Hlavním projevem nevyváhy jsou vibrace. Nevyváženost má za následek větší dynamické zatížení ložisek a tím nižší životnost stroje a větší náchylnost k havárii. Nadměrné dynamické namáhání rotoru může vést až ke kolizi statoru s rotorem nebo havárii stroje.

3.1 Příčiny nevyváhy

Jednou z nejčastějších příčin vzniku vibrací u rotačních strojů je nevyváženost. Ta má za následek snížení spolehlivosti a životnosti stroje. Nevyváženost rotorů způsobuje změnu polohy hlavní osy setrvačnosti vůči ose rotace. Příčiny vzniku změny polohy hlavní osy setrvačnosti mohou být různé a v průběhu života stroje se mohou měnit. Vznik nevyváženosti rotorů můžeme rozdělit do několika kategorií:

Výrobní a montážní nevyváženosti

- neobrobené plochy,
- trvalá deformace součástí,
- nerovnoměrná hustota materiálu součástí,
- nekruhovitost ložiskových čepů.

Funkční a provozní nevyváženost

- vzájemné uvolnění části rotoru s možnou deformací,
- z funkce stroje (odstředivky),
- nerovnoměrné opotřebení rotoru (tlukadlový mlýn uhlí),
- uvolnění, vylomení části rotoru,
- usazování nečistot na funkčních částech rotoru,
- opotřebování.

Konstrukční nevyváženost

- špatné uspořádání částí rotoru,
- špatné výrobní tolerance,
- špatné geometrické tolerance.

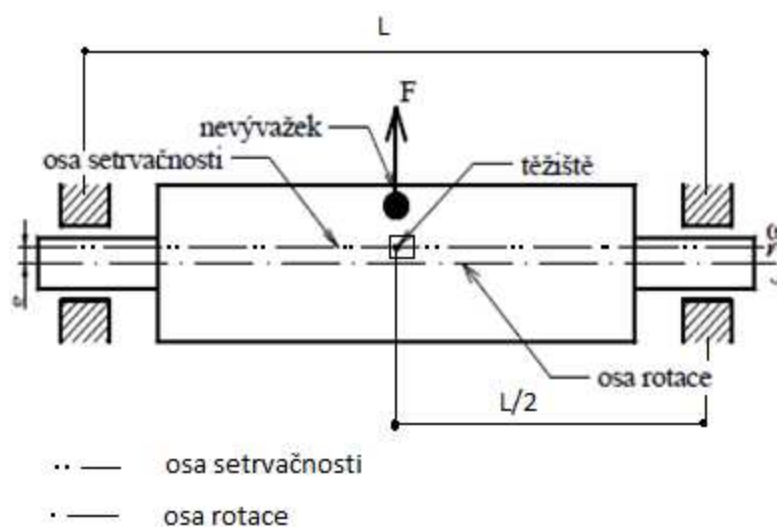
3.2 Význam vyvažování

Cílem vyvažování je vyvážit rotor tak, aby byly splněny předpoklady vysoké spolehlivosti a životnosti objektu s vyvažovaným rotorem a bylo dosaženo dostatečné bezpečnosti jeho provozu a komfortu obsluhy s ohledem na přijatelné hladiny vibrací.

3.3 Druhy nevyváženosti**Statická nevyváženost**

Těleso se dostane do statické nevyváženosti tehdy, jestliže jeho hlavní osa setrvačnosti se rovnoměrně posune od osy rotace. *“K posunutí osy setrvačnosti rotoru dojde v takovém případě, kdy se dá celková nevyváženost rotoru rozložit na dva nevyvážky o stejných velikostech a umístěných pod stejným polohovým úhlem v rovinách kolmých na osu rotace za předpokladu, že jsou tyto roviny souměrné s těžištěm rotoru.”* (Brychcy, Hudeczek, 2007, s.8) U statické nevyváženosti působí jen jedna síla. Při statickém vyvažování se snažíme posunout těžiště zpět do osy rotace. Toho docílíme tak, že na rotor přidáme nebo ubereme vyvažovací hmotu v jedné vyvažovací rovině.

Statická nevyváženost se dá zjistit tak, že rotor se položí například na vlasová pravítka a umožní se mu odvalování. Pak nejtěžší bod zaujme nejnižší polohu.

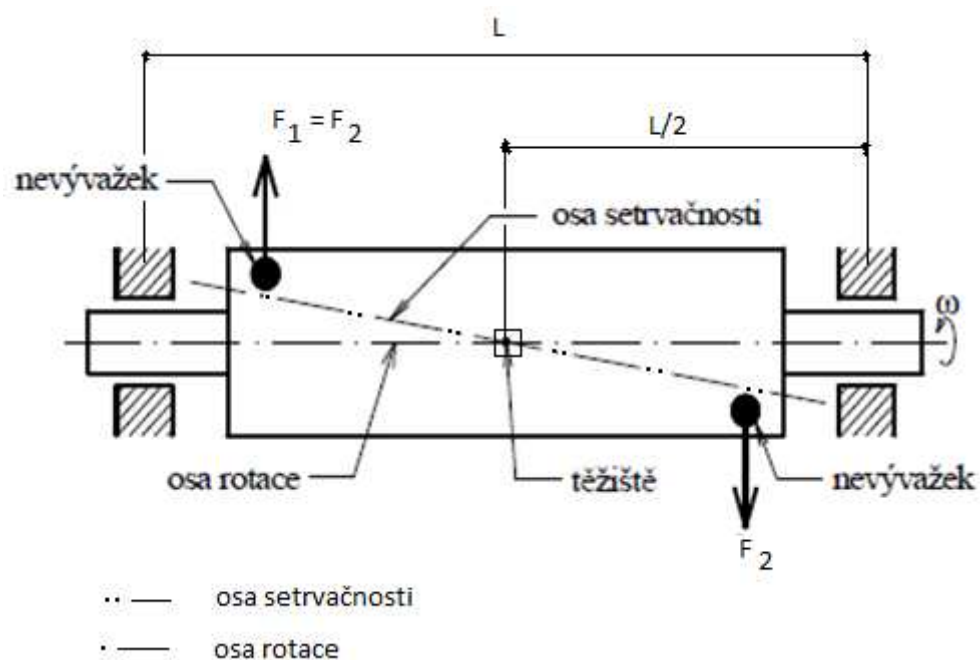


Obr. 2: Statická nevyváženost rotoru

Momentová nevyváženost

Momentová nevyváha nastane tehdy, jestliže hlavní osa setrvačnosti svírá s osou rotace úhel a protíná ji v ose těžiště rotoru. Momentovou nevyváženost nelze měřit v klidovém stavu. Rotor se v klidovém stavu jeví jako vyvážený. Momentovou nevyváženost lze rozdělit na dva shodné nevyvážky, mezi kterými je rozdíl polohového úhlu 180° .

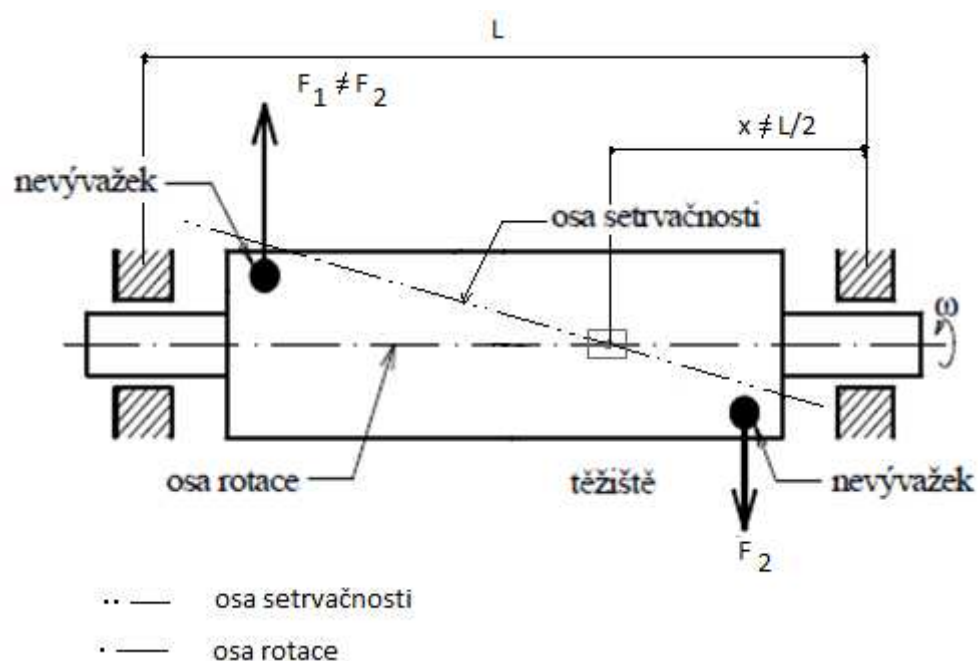
U momentové nevyváženosti vzniká silový moment. „Uložení rotoru není v tomto případě namáháno velkými dynamickými účinky odstředivých sil, vzniká zde silový moment, který je mnohdy více nežádoucí než odstředivé síly způsobené statickou nevyváhou.“ (Brychcy, Hudeczek, 2007, s.9) Tento moment způsobuje zvýšené axiální síly.



Obr. 4: Momentová nevyváženost

Dynamická nevyváženost

Dynamická nevyváženost se v praxi objevuje nejčastěji. Je složena z nevyváženosti čistě statické a momentové. Hlavní osa momentu setrvačnosti se neprotíná s osou rotace v těžišti.



Obr. 5: Dynamická nevyváženost

Při dynamickém vyvažování rotorů se zpravidla nejprve vyvažuje statická nevyváženost a poté nevyváženost momentová. Vyvažování se provádí ve dvou rovinách.

4 Postup při provozním vyvažování v jedné rovině

Při provozním vyvažování jsme zavedli zjednodušení, že převíslý rotor je vyvažován pouze v jedné vyvažovací rovině. Toto zjednodušení velmi často vyhoví provozní praxi. Pokud nevyhoví, je potřebné korigovat také momentovou nevyváhu.

Pro dosažení dobrých výsledků vyvažování je důležité určit pracovní postup, který můžeme shrnout do následujících čtyřech bodů [1]:

- příprava objektu,
- ověření nevyváženosti rotoru,
- zjištění druhu nevyváženosti,
- stanovení specifických požadavků pro provozní vyvažování.

Příprava objektu

Před zahájením samotného vyvažování je nezbytným krokem kontrola technického stavu objektu. Měli bychom především věnovat pozornost funkčním plochám rotoru, zda se na něm nenachází usazeniny a nánosy nečistot, které pak způsobují nevyváženost. Dále je nutné zkontrolovat zda nedošlo k odpadnutí vývažku z předešlého vyvažování, protože nevyváženost může být způsobena ztrátou vyvažovacího závaží. Zkontrolujeme uvolněné spoje.

Rozbor konstrukce rotoru je důležitý pro zvolení nejvhodnější korekce nevyváženosti a pro stanovení vyvažovacích rovin. Musíme si uvědomit, jakým způsobem budeme nevyváženost korigovat, budeme-li umísťovat vývažky přímo na rotor, pak vývažky musí být vhodným způsobem uchyceny a umístěny, aby nedošlo k jejich uvolnění, nebo aby nebránily činnosti rotoru. Budeme-li z rotoru hmotu odebírat, musíme dávat pozor, abychom nenarušili zóny, které by mohly ovlivnit provozní vlastnosti rotoru.



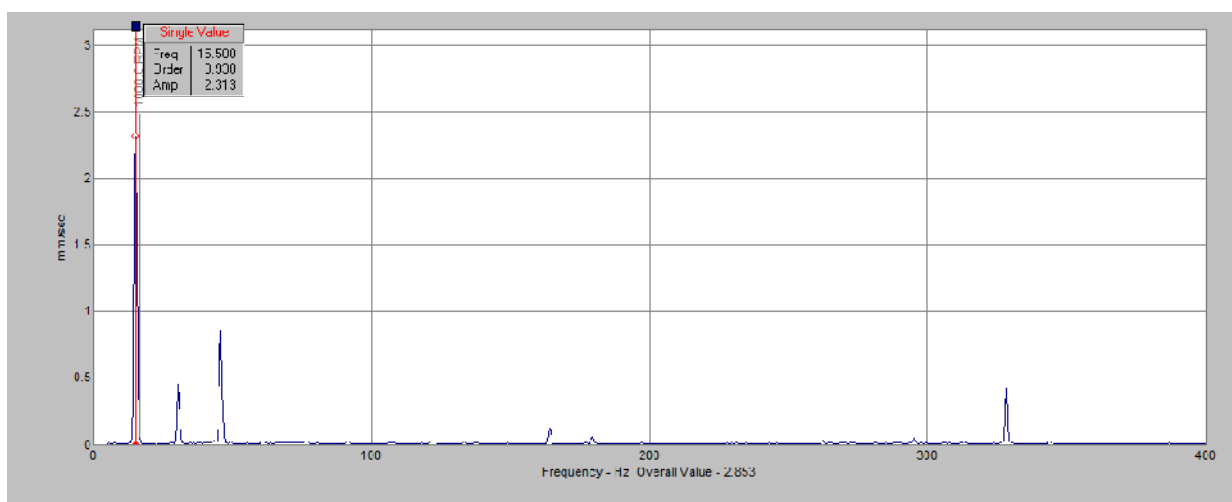
Obr. 6: Umístění a upevnění vývažku na rotor

Pro provoz rotačních strojů platí příslušné bezpečnostní normy a při provozním vyvažování musí být mimo to uplatněny i zvláštní bezpečnostní předpisy. Při montáži vývažků na rotor se většinou nezakrývají činné části rotoru a může tak dojít k úrazu, proto je nutné dbát zvýšené opatrnosti.

Ověření nevyváženosti rotoru

Ověřit nevyváženost rotoru můžeme provést pomocí analýzy frekvenčních spekter a fáze vibrací. Pro nevyvážený rotor platí: [1]

- dominantní vibrace se projevují na otáčkové frekvenci rotoru,
- vibrace v horizontálním směru jsou od vibrací ve vertikálním směru na stejném ložisku fázově posunuty o 90° ,
- fáze vibrací v horizontální rovině obou ložisek jsou shodné s tolerancí $\pm 30^\circ$; jestliže ve vertikální rovině platí totéž, pak se jedná o statickou nevyváhu,
- hodnota vibrací na otáčkové frekvenci rotoru je shodná nebo nižší než hodnota celkových vibrací,
- rozdíl velikosti vibrací v horizontální rovině a vertikální rovině není obvykle větší než 20%,
- nízké vibrace v axiálním směru, odpovídající zhruba 10% úrovni radiálních vibrací.



[7] Obr. 7: Spektrum vibrací

Pozn. Je zde patrna nevývaha na otáčkové frekvenci a uvolnění (2x, 3x ot. frekvence).

Statická nevýváženost

frekvence [Hz]		velikost frekvence [Hz]	Projev ve spektru vibrací
Základní rotorová	f_R	$f_R = n/60$	Výrazná amplituda v radiálním směru na obou ložiscích. Fáze vibrací v horizontální rovině obou ložisek jsou shodné s tolerancí $\pm 30^\circ$. Fázový posuv mezi horizontálním a vertikálním směrem je $90^\circ \pm 30^\circ$.
Harmonické frekvence k rotorové frekvenci		$k \times f_R$ $k = \text{celé číslo}$	Přítomnost harmonických frekvencí ukazuje vysokou nevýváženost nebo na vymezování vůlí v ložiscích.

Momentová nevyváženost

frekvence [Hz]		velikost frekvence [Hz]	Projev ve spektru vibrací
Základní rotorová	f_R	$f_R = n/60$	Výrazná amplituda v radiálním směru na obou ložiscích. Vzájemná fáze obou amplitud na rotorové frekvenci je rovna $180^\circ \pm 20^\circ$
Harmonické frekvence k rotorové frekvenci		$k \times f_R$ $k = \text{celé číslo}$	Přítomnost harmonických frekvencí ukazuje vysokou nevyváženost nebo na vymezování vůlí v ložiscích.

Dynamická nevyváženost

frekvence [Hz]		velikost frekvence [Hz]	Projev ve spektru vibrací
Základní rotorová	f_R	$f_R = n/60$	Výrazná amplituda v radiálním směru na obou ložiscích. Vzájemná fáze obou amplitud na rotorové frekvenci má stabilní hodnotu s kolísáním v mezích $\max \pm 20^\circ$. Převládají především radiální vibrace.
Harmonické frekvence k rotorové frekvenci		$k \times f_R$ $k = \text{celé číslo}$	Přítomnost harmonických frekvencí ukazuje vysokou nevyváženost nebo na vymezování vůlí v ložiscích.

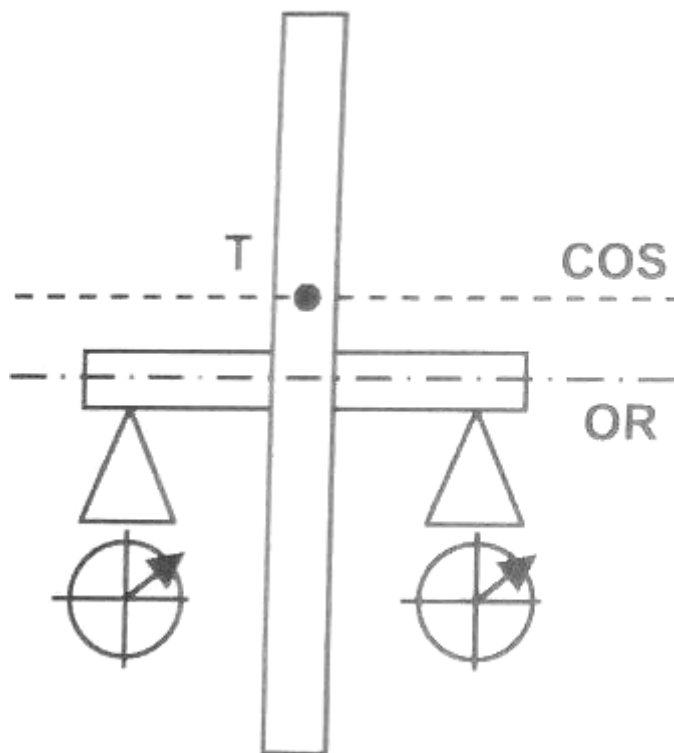
[3] Tab. 1: Nevyváženosti

Zjištění druhu nevyváženosti

Druh nevyváženosti zjišťujeme pomocí rozboru frekvenčních spekter a fáze vibrací rotoru.

Staticky nevyvážený rotor

Projevuje se stejně velkými vibracemi a se stejným fázovým úhlem na obou ložiskových podporách. Nejčastěji u „tenkých“ rotorů.



fáze jsou stejné

T *těžiště*

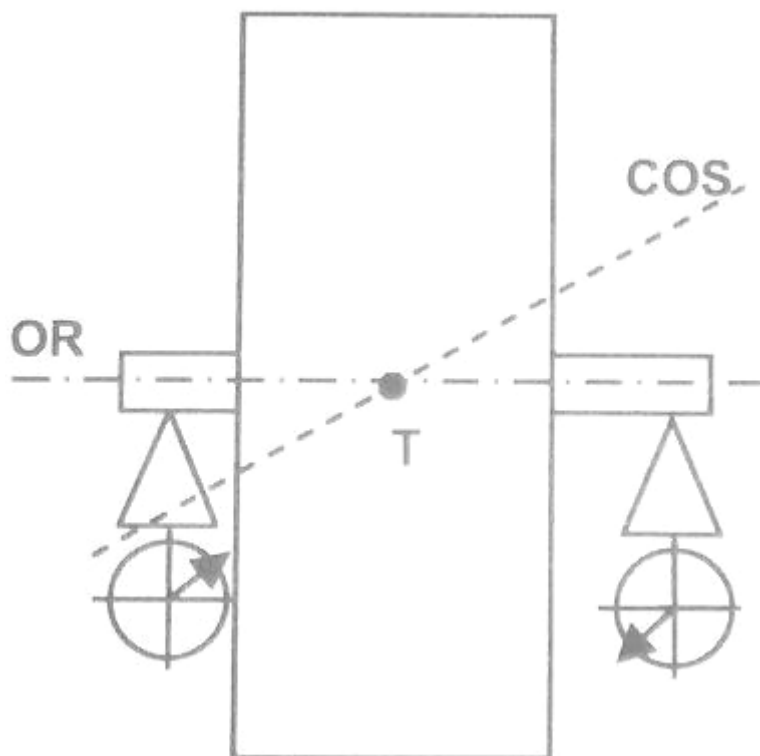
COS *osa setrvačnosti*

OR *osa rotace*

Obr.8: Staticky nevyvážený rotor

Momentově nevyvážený rotor

Projevuje se stejně velkými vibracemi v obou ložiskových podporách, ale s fázovým úhlem pootočeným o 180° .



fáze jsou pootočeny o 180°

T *těžiště*

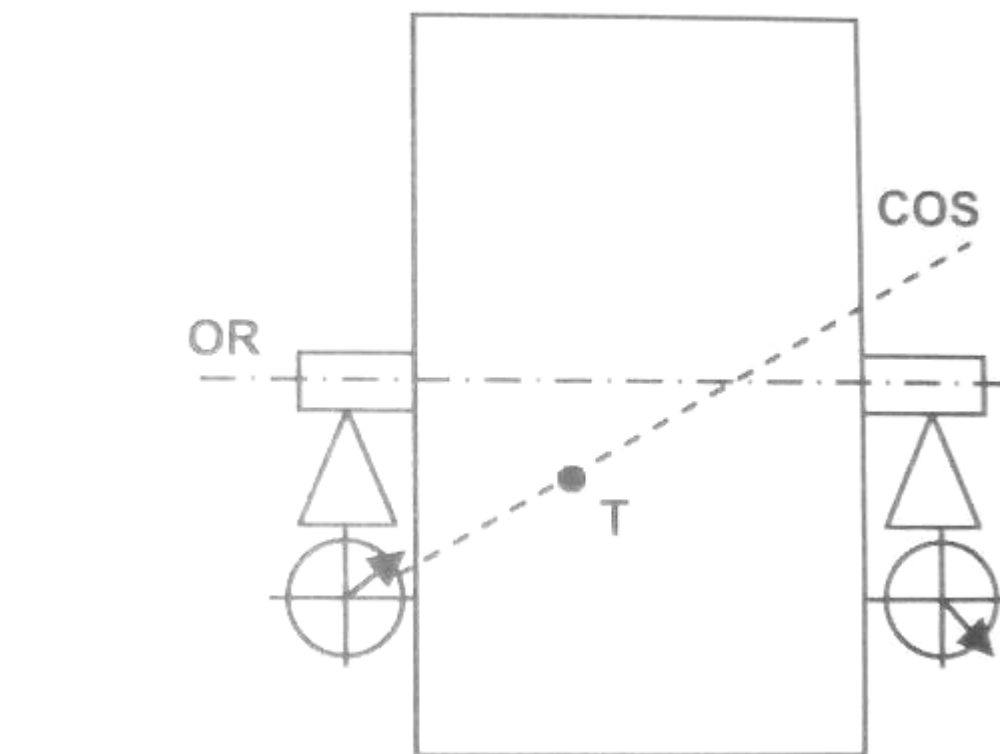
COS *osa setrvačnosti*

OR *osa rotace*

Obr. 9: Momentově nevyvážený rotor

Dynamicky nevyvážený rotor

Projevuje se různě velkými amplitudami a různými fázovými úhly v obou ložiskových podporách. Jedná se o nejčastější provozní případ u dlouhých rotorů.



fáze jsou různé

T *těžiště*

COS *osa setrvačnosti*

OR *osa rotace*

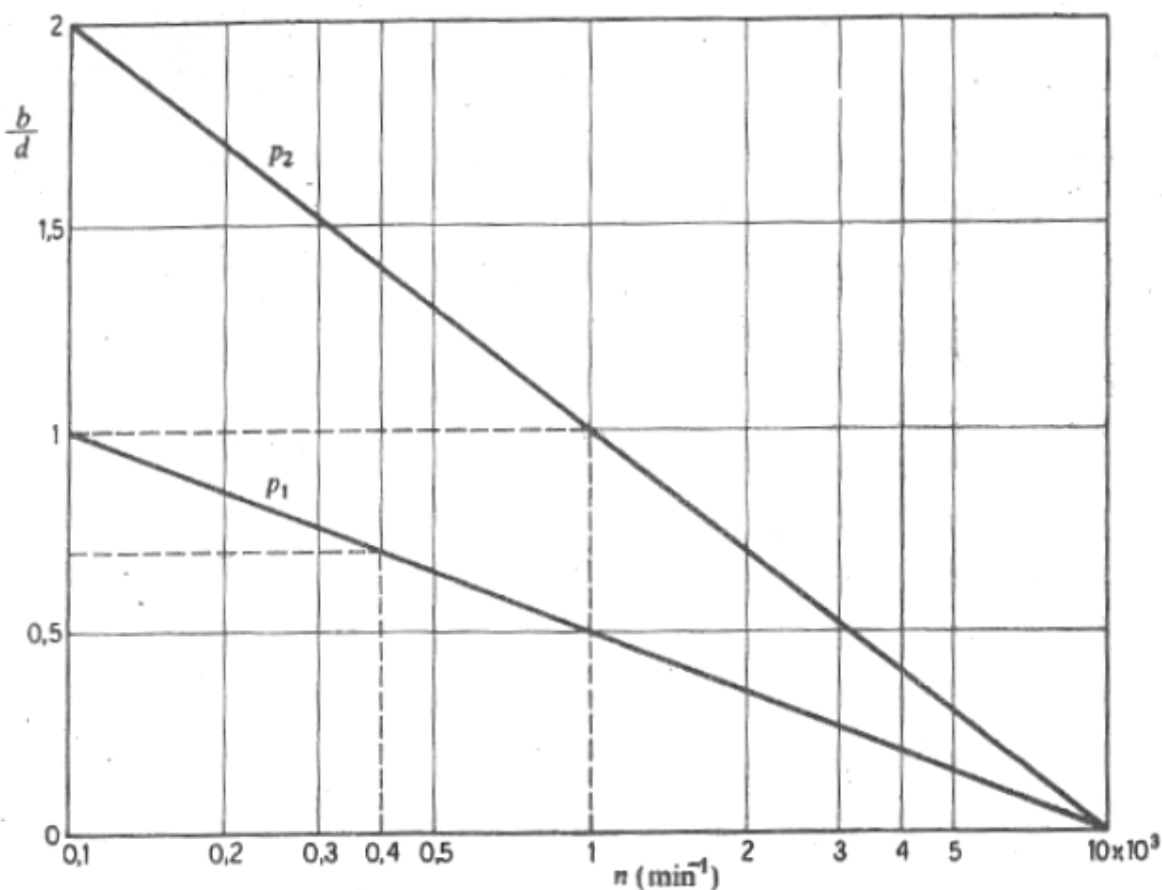
Obr. 10: Dynamicky nevyvážený rotor

5 Metody provozního vyvažování

Provozním vyvažováním rozumíme vyvažování za provozu. Není nutná demontáž rotoru. Do provozního měření se zahrnou provozní vlastnosti stroje. V současné době existuje několik vyvažovacích metod. Dají se rozdělit podle:

- počtu vyvažovacích rovin:
 - vyvažování v jedné vyvažovací rovině,
 - vyvažování ve dvou vyvažovacích rovinách.
- metody s měřením a bez měření fáze:
 - zkusmá vyvažovací metoda (bez měření fáze),
 - vektorová (jednopolohová) vyvažovací metoda (s měřením fáze),
 - dvupolohová vyvažovací metoda (bez měření fáze),
 - třípolohová vyvažovací metoda (bez měření fáze).

Staticky (v jedné rovině) se vyvažují tělesa, které mají tvar disku, mají malou axiální délku a pracují při nízkých otáčkách. V literatuře [6] se uvádí, že v jedné rovině lze vyvažovat rotory bez ohledu na jejich délku, pokud jejich provozní otáčky nejsou vyšší než 300 ot./min. Jestliže rotor pracuje při vyšších otáčkách, doporučuje se vyvažovat v jedné rovině ty rotory, u kterých platí [6], poměr $b/d \leq 0,2$ (b je šířka, d je průměr součásti). [6] udává i mez $b/d \geq 3$. V následujícím diagramu [6] je uvedena oblast použití vyvažování v jedné rovině v závislosti na poměru b/d a provozních otáčkách n .



[6] Obr. 11: Oblast použití vyvažování v jedné rovině

„Přímka p_1 udává mezní hodnoty poměru pro součásti s větší předpokládanou dvojicovou nevyvážeností a přímka p_2 pro součásti, u nichž se předpokládá menší dvojicová nevyváženost.“ (Borůvka, Fryml, Juliš, 1979, s.148)

Na rozdíl od statické nevyváženosti se účinek momentové nevyváženosti projeví pouze během rotování součásti. Momentovou nevyváženost lze měřit pouze na rotujícím se tělese.

Dynamické účinky nevyvážených hmot jsou vyvolány jejich odstředivými silami, které jsou úměrné součinu hmot a jejich vzdálenosti od osy rotace. Velikost nevyvážku je definována následujícím vzorcem: [2]

$$D_n = g \times m_n \times r_v \quad [kg.m]$$

g – tíhové zrychlení

m_n – hmotnost nevývažku

r_v – vzdálenost nevývažku od osy rotace

Poloha nevývažku je určena úhlovou polohou vzhledem ke zvolené referenční rovině. Můžeme ji vyjádřit jako vektor, má směr a velikost.

Při dynamickém vyvažování počítáme s vektory vývažků/nevývažků a s vektory vibrací, které tyto nevývahy vyvolávají.

V dnešní době existuje mnoho vyvažovacích zařízení, u kterých není nutné manuální zpracování diagramu. Velká výhoda těchto programů je, že nevyžadují tolik startů a zastavení stroje pro sběr dat. Výrazně se tak zkrátí čas potřebný pro vyvážení stroje.

5.1 Zkusmá vyvažovací metoda

Zkusmá vyvažovací metoda, nebo-li metoda putujícího nevývažku je přesná vyvažovací metoda provozního vyvažování v jedné vyvažovací rovině, využívá velké množství dat z vyvažovacích zkoušek.

Její velkou nevýhodou je, že vyžaduje velké množství startů a zastavení stroje a je velmi časově náročná u elektromotorů, u kterých je nutno dodržet předepsané časové intervaly mezi jednotlivými běhy z důvodu přehřátí elektromotoru. Navíc u rotoru, který není této zkoušce uzpůsoben, např. navrtanými otvory pro umístění vývažků, může docházet k velkému zásahu do konstrukce rotoru.

Graficko-početní postup, jakým se zkusmá vyvažovací metoda provádí je následující:

1. Obvod rotoru se rozdělí na určitý počet částí (čím více částí, tím bude vyvažování přesnější), nejčastěji na 12. Do těchto míst se bude postupně umísťovat pomocný vývažek.

2. Změříme amplitudu vibrací nevyváženého rotoru A_N bez pomocného vývažku.
3. Změříme mohutnost vibrací rotoru A_w s pomocným vývažkem m_w ve všech místech rozděleného rotoru.
4. Všechny hodnoty vyneseme do grafu. Na osu x budeme zaznamenávat umístění závaží na rotoru (polohový úhel ψ_w) a na osu y amplitudy vibrací rotoru A . Body proložíme křivkou a z její maximální a minimální hodnoty se určí hmotnost vývažku.
5. Úhel umístění vývažku je posunut o 180° od místa s maximální amplitudou vibrací A_{max} .

Všechny měření musí probíhat za stejných provozních podmínek (stejně otáčky, stejné zatížení).

Podle maximální a minimální hodnoty amplitudy vibrací A se hmotnost vývažku určí následovně: [1]

$$\text{Je-li } A_N = \frac{A_{max} + A_{min}}{2}, \text{ potom } m_v = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} - A_{min}} \times \frac{r_w}{r_v} \times m_w$$

$$\text{Je-li } A_N < \frac{A_{max} + A_{min}}{2}, \text{ potom } m_v = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}} \times \frac{r_w}{r_v} \times m_w$$

A_N amplituda vibrací nevyváženého rotoru

A_{max} maximální amplituda vibrací

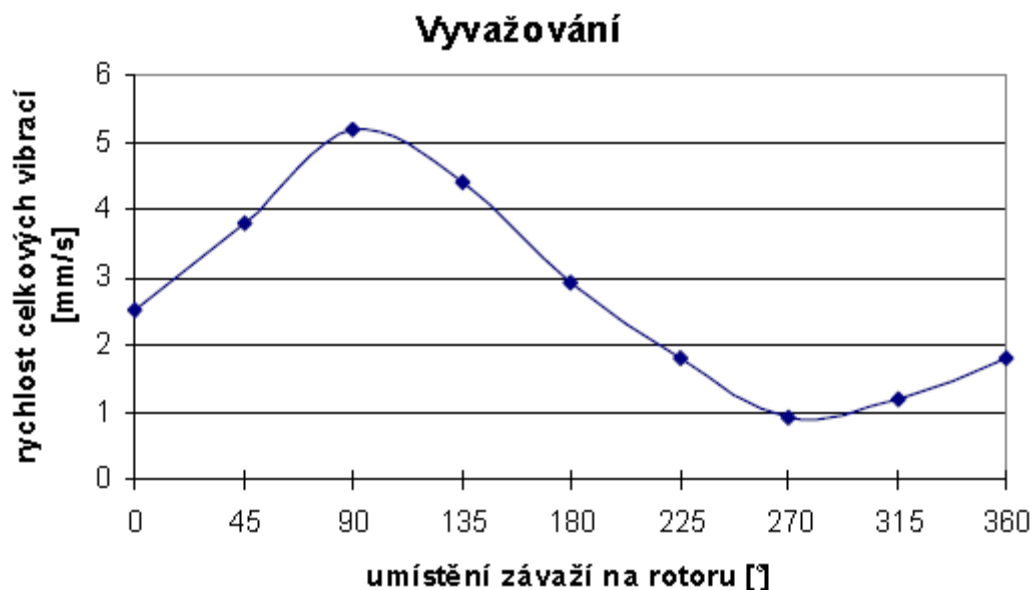
A_{min} minimální amplituda vibrací

m_w hmotnost pomocného vývažku

m_v hmotnost vývažku

r_v poloměr umístění vývažku

r_w poloměr umístění pomocného vývažku



Obr. 12: Zkusná vyvažovací metoda

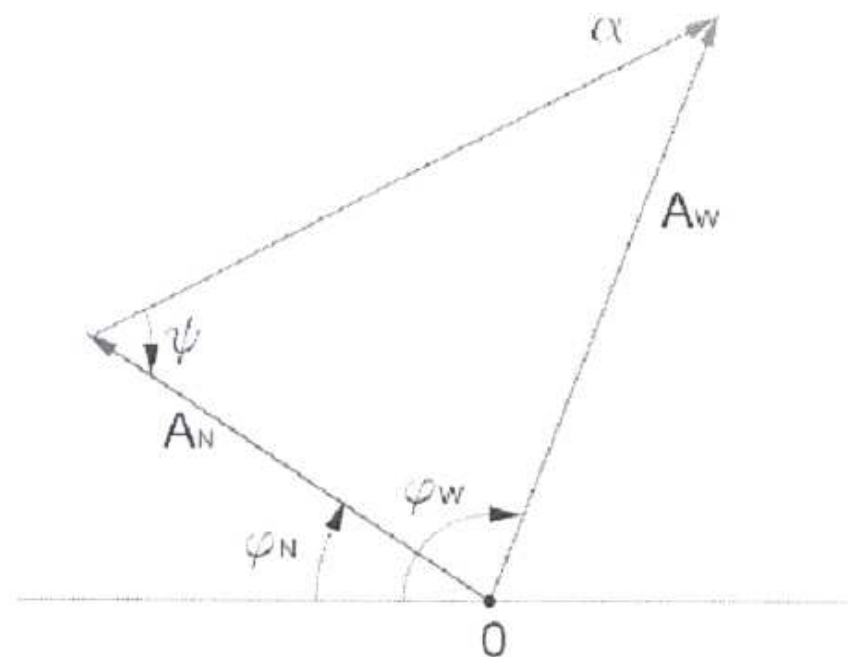
5.2 Vektorová (jednopolohová) metoda s měřením fáze

Vektorová metoda nebo tzv. jednopolohová metoda patří mezi nejrozšířenější metodu provozního vyvažování. Výhoda této metody spočívá v nízkém počtu běhů a jednoduchému algoritmu výpočtu, který lze uplatnit i v přenosných měřicích zařízeních.

Vektorová metoda vyhodnocuje příčnickový součinitel α z rozdílu dvou hodnot vibrací. Není tedy vhodná pro rotory s větším nelineárním průběhem vibrací.

Postup vyvážení rotoru za pomoci vektorové metody:

1. Uvedeme rotor do provozního režimu a změříme pomocí měřicího přístroje amplitudu vibrací A_n a fázi kmitu φ_n .
2. Na libovolné místo na rotoru připevníme zkušební vývažek W , rotor opět uvedeme do provozního režimu a opět změříme amplitudu vibrací A_w .
3. Velikost příčnickového součinitele α zjistíme odečtením vektorů A_n a A_w .



[1] Obr. 13: Vektorová metoda

4. Úhel, který svírají vektory A_n a α , je úhlem umístění vývažku ψ .
5. Hmotnost vývažku m_v vypočteme pomocí následujícího vzorce:

$$m_v = \frac{A_n \times m_w \times r_w}{\alpha \times r_v}$$

m_v – hmotnost vývažku

A_n – amplituda vibrací bez pomocného vývažku

m_w – hmotnost pomocného vývažku

α – příčnickový součinitel ([6] poměr výchylky v rovině měření „i“ k nevývažku umístěnému v rovině „j“)

r_v – vzdálenost těžiště vývažku od středu rotace

r_w – vzdálenost těžiště pomocného vývažku od středu rotace

$$\alpha = \frac{A_n - A_w}{m_w}$$

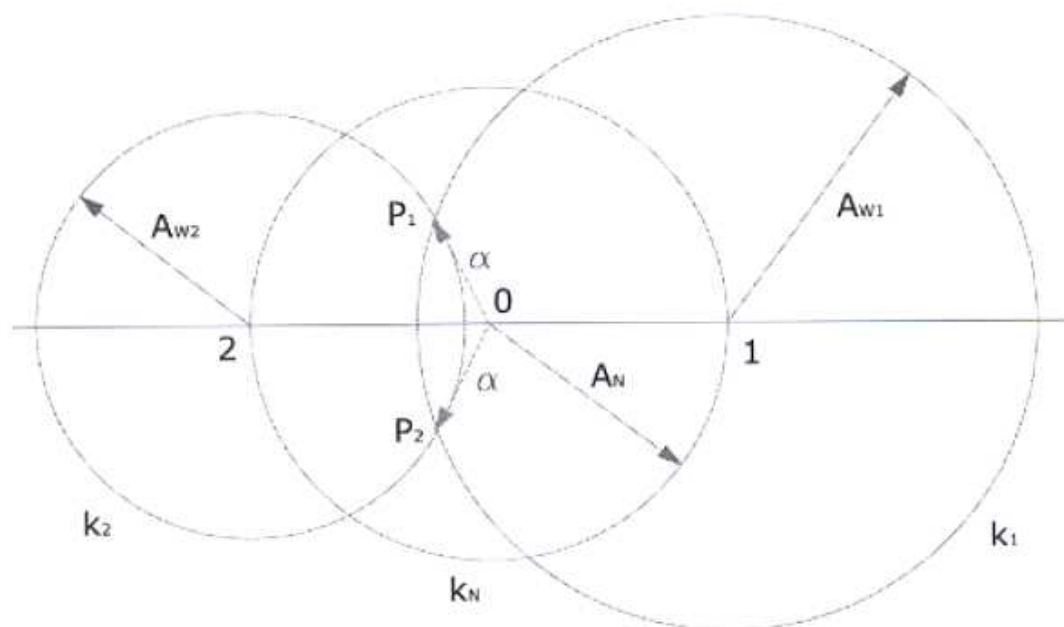
6. Provedeme kontrolní měření, pokud nedosáhneme uspokojivého výsledku, je nutné provést dovyvážení rotoru s pomocným vývažkem s mnohem menší hmotností.

5.3 Dvoupolohová metoda vyvažování bez měření fáze

Princip dvoupolohové metody je velmi podobný jako u metody třípolohové, dvoupolohová metoda není jednoznačná.

Určení vývažku pomocí dvoupolohové metody provedeme následovně:

1. Rotor uvedeme do provozního režimu a změříme amplitudu kmitů A_n .
2. Na libovolné místo na rotoru umístíme pomocný vývažek W .
3. Změříme amplitudu kmitů A_{w1} s pomocným vývažkem.
4. Na rotor umístíme druhý pomocný vývažek stejné velikosti umístěným o 180° od původního.
5. Změříme amplitudu kmitů A_{w2} .
6. Hodnoty A_n , A_{w1} a A_{w2} vyneseme do grafu podle následujícího obrázku:



[1] Obr. 14: Dvoupolohová metoda

$$m_v = \frac{A_n \times m_w \times r_w}{\alpha \times r_v}$$

m_v – hmotnost vývažku

A_n – amplituda vibrací bez pomocného vývažku

m_w – hmotnost pomocného vývažku

α – příčnickový součinitel ([6] poměr výchylky v rovině měření „i“ k nevývažku umístěnému v rovině „j“)

r_v – vzdálenost těžiště vývažku od středu rotace

r_w – vzdálenost těžiště pomocného vývažku od středu rotace

$$\alpha = \frac{A_n - A_{w1}}{m_w}$$

7. Z obrázku je patrné, že poloha vývažku je dvojznačná. Pokud umístíme vývažek m_v do polohy P_1 a vibrace se sníží, umístili jsme vývažek správně. V opačném případě přemístíme do polohy P_2 .

5.4 Třípolohová vyvažovací metoda

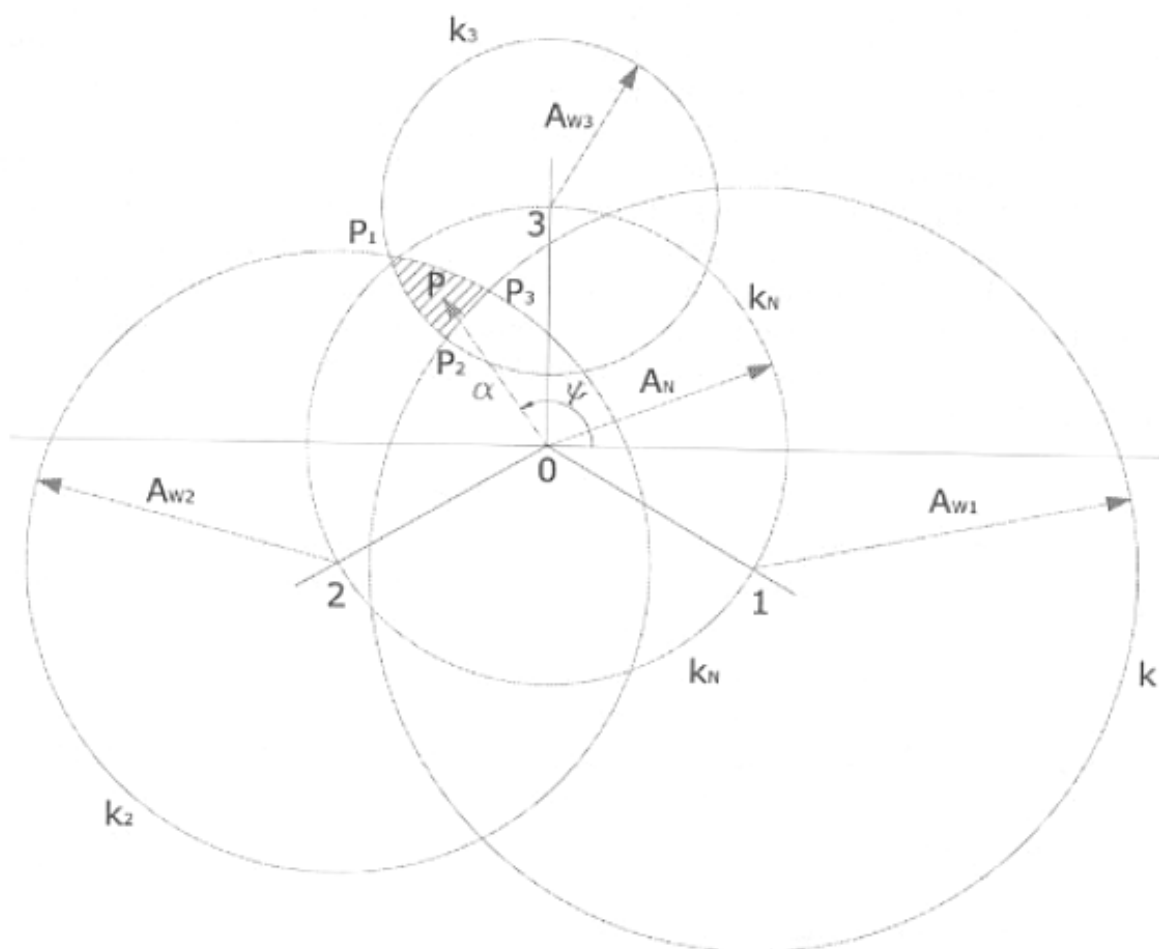
Princip vyvažování u třípolohové metody je obdobný jako u metody dvoupolohové, s tím rozdílem, že k určení vývažku se využívá tří hodnot naměřených vibrací, které vycházejí ze tří rovnoměrně rozmístěných pomocných vývažků po obvodu rotoru. Třípolohová metoda nevyžaduje měření fáze. Je vhodná pro stroje, které nevykazují lineární vibrační odezvu. Výhoda třípolohové metody je, že i pro relativně přesné měření není potřeba velký počet běhů.

Postup vyvážení pomocí třípolohové metody:

1. Uvedeme rotor do provozního režimu a změříme amplitudu vibrací A_n .
2. Na rotoru si vyznačíme místa, která budou od sebe posunuta nejlépe o 120° . Do těchto míst budeme postupně umísťovat pomocný vývažek

W. Pokud 120° rozestup nelze dodržet, tak to nevadí. Přesný rozestup potom zakreslíme do grafické konstrukce.

3. Uvedeme rotor do provozního režimu a změříme amplitudu vibrací A_{w1} , A_{w2} a A_{w3} .
4. Naměřené čtyři hodnoty (A_n , A_{w1} , A_{w2} , A_{w3}) zakreslíme podle následujícího nákresu.



[1] Obr. 15: Třípolohová metoda

1. V bodě O vykreslíme kružnici k_n o poloměru A_n .
2. Místa $1, 2$ a 3 nám znázorňují polohu pomocného vývažku. Vykreslíme kružnice k_1 , k_2 a k_3 o poloměrech A_{w1} , A_{w2} a A_{w3} .
3. Jestliže se kružnice protnou v bodě P , potom vzdálenost bodu P od počátku je velikost příčnickového činitele α a jeho směr vyjadřuje umístění pomocného vývažku/nevývažku. Díky nepřesnostem

měření se kružnice v bodě P protnou velmi zřídka, hledáme proto takovou polohu bodu P , která zaručuje minimální chybu v poloze a velikosti vývažku. Vhodná poloha bodu P je tvořena těžištěm nejmenšího z trojúhelníků bodů P_1 , P_2 a P_3 .

6 Způsoby korekce nevývažků

Kvalitu vyvážení neovlivňuje jen přesné měření, ale i způsob a kvalita provedení korekce nevývahy. Korekci můžeme provést:

- odebráním vyvažovací hmoty,
- přidáním vyvažovací hmoty,
- použitím samovyvažovacích zařízení.

Přidávání korekční hmoty je v praxi nejrozšířenější, vývažek lze kdykoliv upravit nebo odebrat.

6.1 Odebírání nevývažku

Odebrání vyvažovací hmoty z rotoru s sebou nese jistá rizika v podobě nevratného zásahu do konstrukce rotoru. Odebírání vyvažovací hmoty provádíme pouze tehdy, pokud tento zásah neovlivní pevnost konstrukce rotoru, funkčnost nebo bezpečnost provozu rotoru. V některých případech může konstruktér určit místa pro odebírání hmoty, aby nedošlo k narušení pevnosti konstrukce. Tento způsob korekce se rovněž provádí na rotorech, na kterých nelze použít korekci pomocí přidání vyvažovací hmoty pomocí pájení, lepení nebo navaření z důvodu tepelných účinků na rotor. Odebrání vyvažovací hmoty můžeme provést následujícím způsobem:

- odvrtáváním,
- frézováním,
- broušením,
- odřezáváním.

Odvrtávání

Způsob korekce odvrtáváním je rychlý. Množství materiálu pro odebrání se určí z diagramu pro stanovení váhy odebrané hmoty na základě průměru vrtáku a hloubce vrtu.



[3] Obr. 16: Způsob korekce odvrtáním materiálu

Pokud je nutné odvrtat větší množství materiálu, provedeme dva stejné boční vrty na bocích těžkého místa a v těžkém místě rotor dovyvážíme třetím vrtem. „*Při axiálním odvrtávání by hloubky děr neměly přesáhnout 25% délky rotoru, aby nedošlo k ovlivnění vyvažovacích rovin.*“ (Brychcy, Hudeczek, 2007, s. 30)

Frézování

Frézování je méně častý způsob korekce. Jeho nevýhoda spočívá v nemožnosti přesně určit množství odebírané hmoty. Tento způsob korekce se používá u rotorů, které jsou tomu uzpůsobeny, jsou opatřeny nálitky stejné tloušťky, z kterých lze hmotu odfrézovat.

Broušení

„*Broušení se používá tam, kde nelze odebráním nebo přidáním hmoty měnit hladkost povrchu (např. ventilátory, rychloběžná čerpadla apod.). Tento způsob je náročný na čas, protože se množství odebíraného materiálu musí kontrolovat neustálým opakováním vyvažovacích postupů.*“ (Brychcy, Hudeczek, 2007, s. 30)

Odřezávání

Korekce odřezáváním se používá u rotorů tvořených plechy. Tento způsob je snadný..Je to snadné a nenarušuje funkčnost zařízení.

6.2 Přidávání vývažků

Přidávání vývažků na rotor je nejčastěji prováděná korekce nevyvážených hmot. Způsob uchycení vývažku se volí podle velikosti rotoru, hmotnosti vývažku a provozních otáček. Tato metoda korekce se často používá u vývažků velkých hmotností, a proto se musí brát ohled na způsob uchycení vyvažovací hmoty. Musí být zajištěna bezpečnost a dále vývažek musí být upevněn tak, aby nedocházelo k uvolnění a neměnily se provozní vlastnosti stroje. Mezi přednosti této korekce patří možnost manipulovat s již přidanými vývažky. Upevnění vývažku můžeme provést:

- přišroubováním,
- nýtováním,
- lepením,
- pájením,
- přivařením.

Přišroubování

Přišroubování se provádí pomocí šroubů, které většinou tvoří i vyvažovací hmotu. Toto spojení se nedoporučuje používat v radiálním směru kvůli možnému uvolnění při nedostatečném zajištění. Spoj můžeme zajistit například „zakápnutím“ barvou nebo lepidlem.



Obr. 17: Uchycení vývažku přišroubováním

Nýtování

Nýty spojují vývažek s rotorem nebo mohou sloužit jako samotný vývažek.

Lepení

Lepení se používá pro malé vyrovnávací hmoty. Lepením se často připevňují pomocné vývažky. Tento způsob uchycení vývažku lze použít pouze u rotorů, které mají tomuto uchycení přizpůsobenou konstrukci. Odstředivá síla musí působit proti vývažku.

Pájení

Využívá se u malých rotorů. Velikost vývažku se určí pomocí měrné hmotnosti pájecího drátu.

Přivaření

Výhodné z hlediska možnosti kombinování vývažků o různých hmotnostech a z různých materiálů. Tento způsob uchycení není vhodný u rotorů, kde hrozí poškození nebo deformace vlivem působení tepla.

6.3 Přípustný nevývažek

Stanovení přípustného nevývažku není jen technickou otázkou, ale velmi často i otázkou ekonomickou. Špatně provedené vyvážení může způsobit další problémy stroje nebo stroj dokonce úplně vyřadit z provozu a tím způsobit ekonomické ztráty.

Obecně platí, že čím je větší hmotnost rotoru, tím může být větší hmotnost přípustné nevyváženosti při stejných podmínkách. Proto pro vzájemné porovnání jakosti vyvážení různých rotorů je výhodné vztahovat přípustný nevývažek N_p (mm.g) na hmotnost rotoru M (kg). Tento tzv. měrný přípustný nevývažek ε_p je v případě statické nevyváženosti rotoru roven výstřednosti e (μm) těžiště rotoru z osy rotace. Platí tedy: [6]

$$\varepsilon_p = \frac{N_p}{M} \quad [\mu\text{m}] \quad [6]$$

Dalším důležitým faktorem při určování přípustného nevývažku jsou provozní otáčky rotoru. Pro rotory téhož typu byl stanoven vztah: [6]

$$Q = \varepsilon_p \omega \cdot 10^{-3} = konst [mm \cdot s^{-1}] \quad] \quad [6]$$

Tento vztah udává tzv. stupeň nevyváženosti. Stroje a strojní součásti jsou rozděleny do 11 tříd [6]. Toto členění udává norma ČSN 01 1410 a jeho cílem je poskytnutí konstruktérům vodítka pro stanovení přípustné nevyváženosti.

Třída	Q [mm.s ⁻¹]	
1	0,16 – 0,40	<ul style="list-style-type: none"> • textilní vřetena nad 7000 min⁻¹ • kotouče a součásti přesných brusek • gyroskopy
2	0,40 – 1,00	<ul style="list-style-type: none"> • pohony magnetofonů a gramofonů • pohony brusek • textilní vřetena do 7000 min⁻¹
3	1,00 – 2,50	<ul style="list-style-type: none"> • rotory plynových a parních turbín včetně hlavních lodních turbín • tuhé rotory turbogenerátorů • tuhé rotory turbokompresorů • pohony obráběcích strojů • odstředivá čerpadla s turbínovým pohonem
4	2,50 – 6,30	<ul style="list-style-type: none"> • součásti výrobních strojů • bubny odstředivek • rotory dmychadel • vrtule • setrvačníky • součásti obráběcích strojů • kotouče automobilových spojek se zvláštními požadavky • oběžná kola ventilátorů s velmi přísnými požadavky na klidnost chodu

5	6,30 – 16,00	<ul style="list-style-type: none"> • hřídele pohonů se zvláštními požadavky • součásti drtících strojů • oběžná kola ventilátorů s vyššími nároky na vyvážení • stroje pro mlýny, sila a krmivárny • kotouče automobilových spojek • součásti benzínových a dieselových motorů pro osobní a nákladní automobily a lokomotivy • klikové pohony motorů se 6-ti nebo více válci se zvláštními požadavky
6	16,00 – 40,00	<ul style="list-style-type: none"> • železniční dvojkolí • automobilová kola • brzdové bubny • hřídele pohonů • oběžná kola ventilátorů pro běžné použití • klikové pohony pružně uložených rychloběžných 4T benzínových i naftových motorů se 6-ti nebo více válci • klikové pohony motorů
7	40,00 – 100,00	<ul style="list-style-type: none"> • nástroje pro strojní obrábění dřeva a nových hmot • kompletní benzínové nebo naftové motory osobních a nákladních automobilů a lokomotiv • klikové pohony rychloběžných naftových motorů se 6-ti nebo více válci
8	100,00 – 250,00	<ul style="list-style-type: none"> • klikové pohony natuho uložených velikých 4V naftových motorů
9	250,00 – 630,00	<ul style="list-style-type: none"> • klikové pohony natuho uložených velikých 4T motorů

		<ul style="list-style-type: none"> • klikové pohony pružně uložených lodních naftových motorů
10	630,00 – 1600,00	<ul style="list-style-type: none"> • klikové pohony natuho uložených velikých 2T motorů
11	1600,00 – 4000,00	<ul style="list-style-type: none"> • klikové pohony natuho uložených pomaloběžných naftových lodních motorů s lichým počtem válců
<p><i>Pozn.:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Třídy 1 a 2 udávají prakticky nejmenší velikost přípustných měrných nevývažků, kterých lze dosáhnout při dodržení co nejpřesnější výroby čepů hřídele a ložisek. Rotory zařazené do 2. třídy je nutné vyvažovat ve vlastních ložiskách. Rotory zařazené do 1. třídy je nutno vyvažovat nejen ve vlastních ložiskách, ale i ve vlastní skříni a za dodržení dalších provozních podmínek a teploty. Mimo to se pro 1. třídu doporučuje vlastní pohon, pro 2. třídu pohon bez kloubového spojení s vyvažovaným rotorem. 2. Pod pojmem klikový pohon je nutné zahrnout klikový hřídel, setrvačník, spojku, řemenici, tlumič kmitání, rotující část ojnice. 3. Pro vyvažování se za pomaloběžné naftové motory považují motory do rychlosti pístu 9m.s^{-1}. 4. Do pojmu kompletní motor je nutno zahrnout součet hmot patřících ke klikovému pohonu, jak je uvedeno v poznámce 2. 5. Stupeň přípustné nevyváženosti vyvažovacích trnů má být o třídu menší než zvolený stupeň přípustné nevyváženosti vyvažované součásti. Délka trnu nemá být delší než délka hřídele. 		

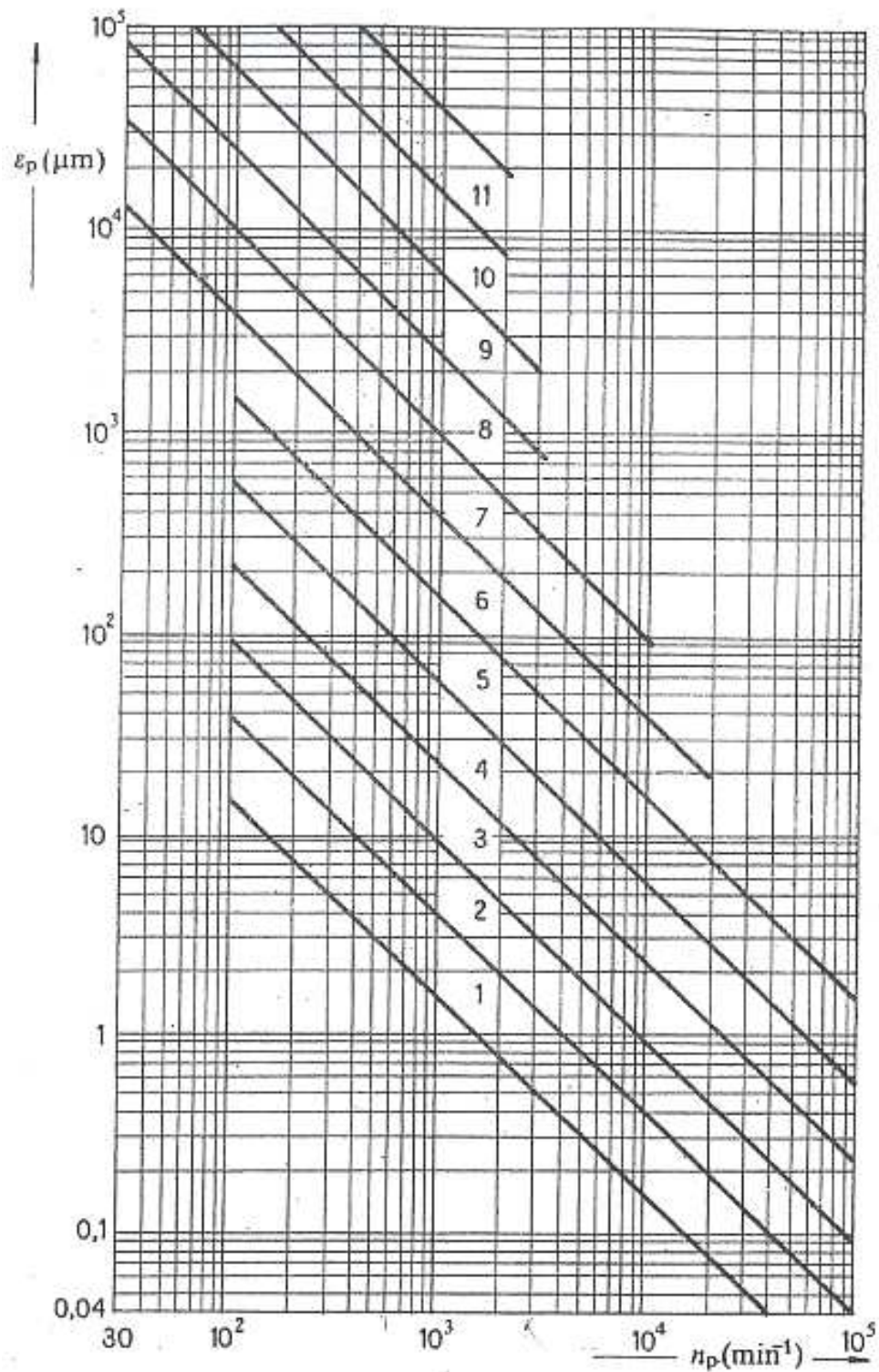
[6] Tab. 2: Rozdělení rotorů do tříd

Při zařazení rotu do příslušné třídy (tab. 2), můžeme poměrně snadno určit přípustné nevývažky pomocí následujícího diagramu, který udává závislost přípustného měrného nevývažku ε_p na otáčkách rotoru n . Pokud rotor disponuje více stupni otáček, volíme ty nejvyšší otáčky. V diagramu se odečtou mezní hodnoty ε_{pmin} a ε_{pmax} zvolené třídy. Přípustný měrný nevývažek je pak roven: [6]

$$\varepsilon_p = \sqrt{\varepsilon_{pmin} \cdot \varepsilon_{pmax}}$$

Hodnotu ε_p použijeme do vztahu pro výpočet přípustného nevývažku N_p : [6]

$$N_p = \varepsilon_p \cdot M \text{ [mm.g]}$$



[6] Obr. 18: Diagram pro určení přípustných měrných nevývažků

Pokud vyvažujeme některé součásti na trnu a pak je nasazujeme na hřídel hlavního rotoru, doporučuje se [6] určit přípustný nevyvážek podle tohoto vzorce:

$$N_p = \varepsilon_p \left(M_1 + \frac{M_2}{3} \right)$$

M_1 hmotnost vyvažované součásti

M_2 hmotnost hlavního rotoru

N_p přípustný nevyvážek

ε_p přípustný měrný nevyvážek

Jestliže je vyvažovaná součást z odlišného materiálu než hřídel, tak pro výpočet přípustného nevyvážku použijeme následující vztah: [6]

$$N_p = \varepsilon_p \left(M_1 \frac{\rho_2}{\rho_1} + \frac{M_2}{3} \right)$$

M_1 hmotnost vyvažované součásti

M_2 hmotnost hlavního rotoru

N_p přípustný nevyvážek

ε_p přípustný měrný nevyvážek

ρ_1 měrná hmotnost materiálu vyvažované součásti

ρ_2 měrná hmotnost materiálu hřídele

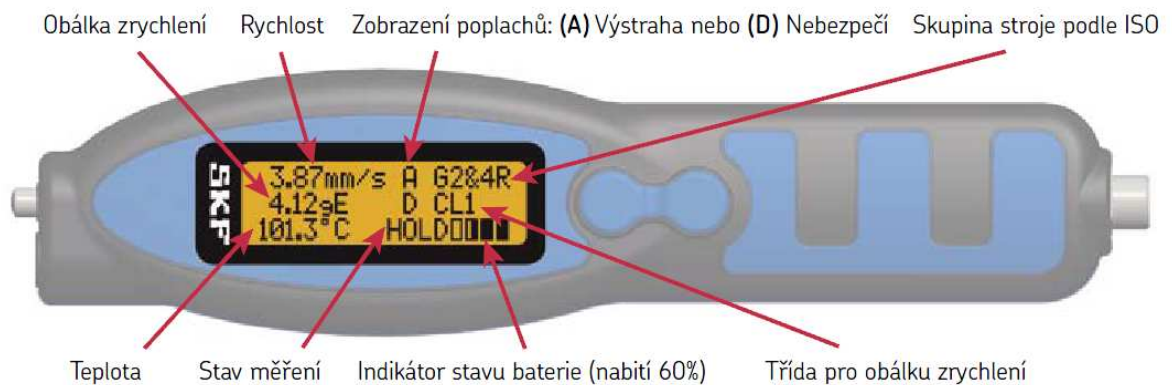
7 Měřicí přístroje

V dnešní době existuje mnoho měřících přístrojů. Většina je multifunkčních. Pro vyvažování je možné použít přístroje s a bez měření fáze.

SKF CMAS100-SL

Tento přístroj měří celkové hodnoty vibrací a teploty. Tyto hodnoty využívá k posouzení stavu stroje nebo ložiska. Neumí měřit fázi.

Pro vyvažování bez měření fáze se používá měření v_{ef} 10 – 1000Hz (ISO 2954).



[4] Obr. 18: SKF CMAS100-SL

Technické údaje

Rychlost:

- rozsah: 0,7 – 65mm/s (efektivní), splňuje ISO 10816
- frekvence: 10 – 1000Hz, splňuje ISO 2954

Obálka:

- rozsah: 0,2 – 50gE
- frekvence: pásmo 3 (500 – 10000Hz)

Teplota:

- rozsah -20 - +200°C (přesnost $\pm 2^{\circ}\text{C}$)

SKF Microlog CMVA 60

Firma SKF nabízí mnoho typů přenosných Micrologů. Od nejzákladnějších až po modely s mnoha přídatnými funkcemi jako jsou například aplikace pro vyvažování apod. Microlog obecně nabízí možnost širokého rozsahu měření (od 0,5Hz – 20kHz), průměrování (1 – 9 999), výběr filtrů, možnost zobrazení FFT spektra přímo na displeji, amplitudy v čase atd.

Technické údaje

- měří celkové hodnoty vibrací (zrychlení, rychlost, výchylka)
- měří stav valivých ložisek
- FFT (zrychlení, rychlost, výchylka, obálka)
- měří časové signály
- měří fáze
- rozběh – doběh
- orbit
- rázový test
- multiparametrické úlohy
- měření:
 - 0,5Hz – 20kHz (plynule přednastavitelný)
 - průměrování: 1 – 9999
 - FFT:
 - rozlišitelnost: 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 a 6400 čar
 - přesnost: 0,01%
 - typ okének: Hanningovo, obdélníkové, Flat top
 - teplotní snímače: - rozsah: -50 - +1150⁰C

Microlog CMVA 60 musí být doplněn o sadu pro měření fáze:

- snímač otáček laserový
- převodník
- BNC konektory a napáječ



[4] Obr. 19: SKF Microlg CMVA 60



[4] Obr. 20: Sada pro měření fáze

Profitechnik VibXpert

- měří celkové hodnoty vibrací (zrychlení, rychlost, výchylka)
- měří stav valivých ložisek
- FFT (zrychlení, rychlost, výchylka, obálka)
- měří časové signály
- měří fáze
- rozběh – doběh
- orbit
- rázový test
- multiparametrické úlohy
- komunikace USB 2.0, COM, LAN
- měřicí rozsah:
 - otáčky: 10 – 200 000 ot/min $\pm 1\%$
 - teplota: - 50 - 1000°C $\pm 1\%$
 - výchylka: 6000 μm $\pm 1\%$
 - rychlost: 6000 mm/s $\pm 1\%$
 - zrychlení: 6000 m/s² $\pm 1\%$



[5] Obr. 21: Profitechnik VibXpert

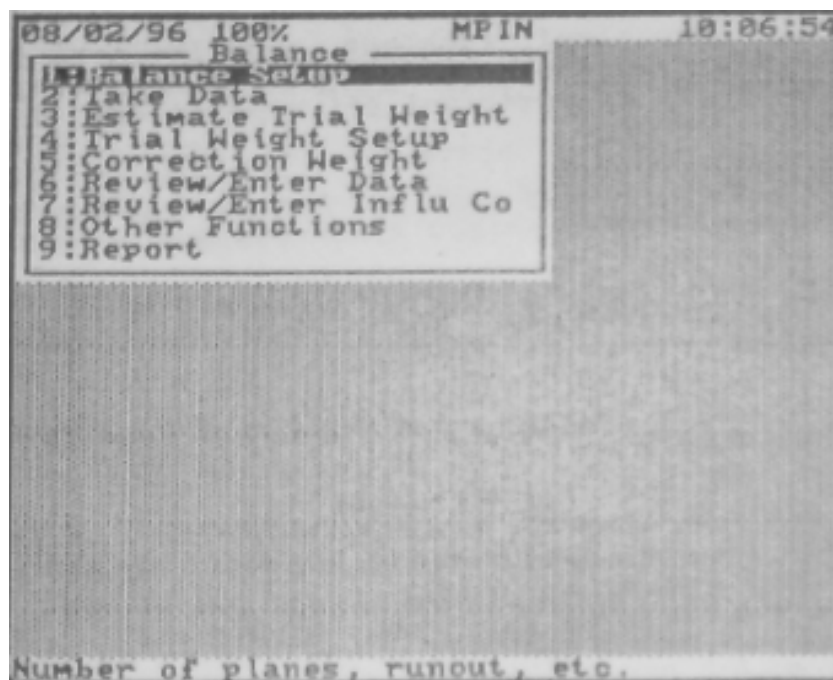
8 Aplikace Balancing v Micrologu CMVA10

Přístroj Microlog CMVA10 disponuje aplikací pro vyvažování. Tento přístroj použijeme pro vyvažování rotoru v praxi. Aplikace umí vyvažovat jak v jedné rovině, tak i ve dvou rovinách a umí měřit fázi. V následující kapitole si popíšeme možnosti nastavení aplikace BALANCING pro vyvažování v jedné rovině.

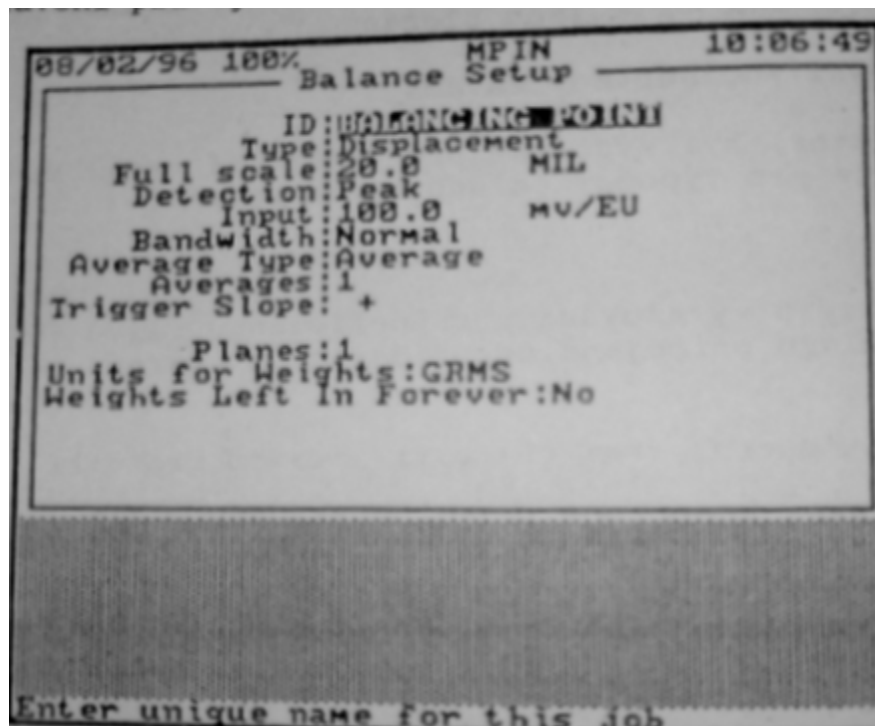
Při provozním vyvažování jsme zavedli zjednodušení, že přepisový rotor je vyvažován pouze v jedné vyvažovací rovině. Toto zjednodušení velmi často vyhoví provozní praxi. Pokud nevyhoví, je potřebné korigovat momentovou nevyváhu.

8.1 Nastavení

Přesuneme ukazatel na položku Balancing a stiskneme ENTER. Pro nastavení voleb vyvažování přesuneme ukazatel na položku Balance Setup a opět stiskneme ENTER



[7] Obr. 22: Menu Micrologu CMVA10



[7] Obr. 23: Menu Balance Setup

- ID - název měřené práce (až 16 znaků)
- Type - zvolíme typ měření dle použití snímače
 - pokud vybereme Displacement (výchylka), potom jsou k dispozici ještě tyto nabídky: - Runout Mag - házivost, napíšeme velikost házivosti
 - Phase (fáze) - napíšeme fázi házivosti
- Full Scale - rozsah stupnice (jednotky jsou automaticky určeny dle typu měření)
 - napíšeme celkový rozsah stupnice a stiskneme ENTER
 - jestliže zadáme rozsah 0.0, je rozsah stupnice zvolen automaticky
- Detection - máme na výběr jednu ze tří voleb, pro zobrazení stiskneme MENU
 - Peak (špička)

- Pk to Pk (špička – špička)
- RMS (efektivní)

Input - citlivost snímače v mV

Bandwidth - šířka pásma - Narrow (úzké, vhodné pro dovyvažování)
- Normal (normální)
- Wide (široké)

Average Type - typ průměrování, pro zobrazení voleb stiskneme MENU
- Off (vypnuto)
- Sync Time (synchroní časové ovládání – vyžaduje referenční spoušť)
- Average (průměrování – nejčastěji používaná volba pro sběr dat)

Averages - průměry
- napíšeme počet průměrů, které chceme použít při měření

Trigger Slope - sklon spouště

Planes - roviny
- 1 - 1 vyvažovací rovina
- 2 - 2 vyvažovací roviny

Units for Weights - hmotnostní jednotky pro závaží

Weights Left In Forever - zkušební závaží ponechána navždy
- Yes - ano, všechna zkušební závaží budou na trvale připevněna
- No - ne, všechna závaží budou sundána

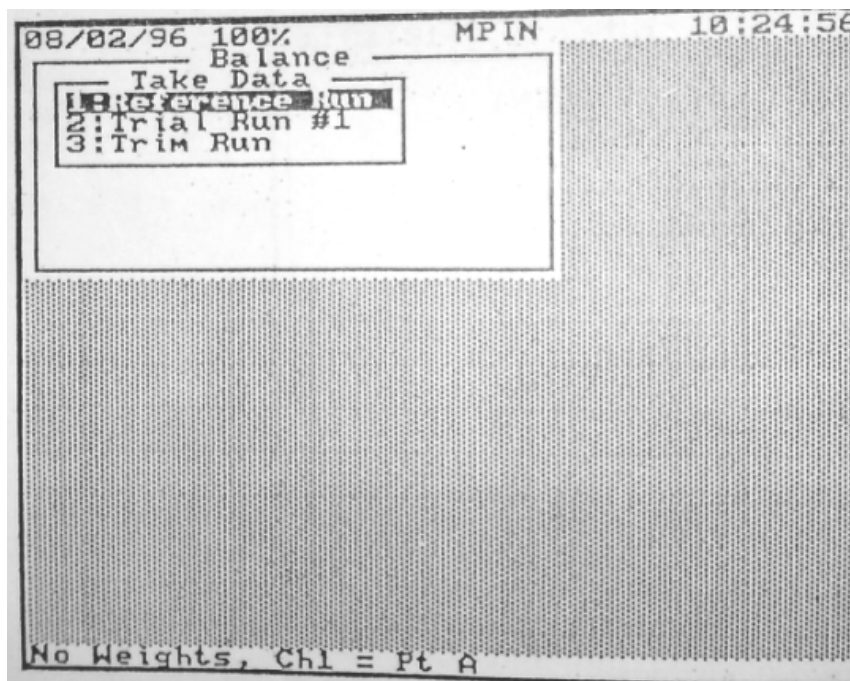
Nastavení pro odhad zkušebního závaží

V menu Balance vybereme položku Estimate Trial Weight. Máme na výběr dvě možnosti:

- Setup (nastavení) - Rotor Weight (hmotnost rotoru)
 - Rotor Speed (otáčky rotoru, napíšeme otáčky z referenčního běhu)
 - Radius (poloměr umístění závaží)
- Calculation (výpočet)

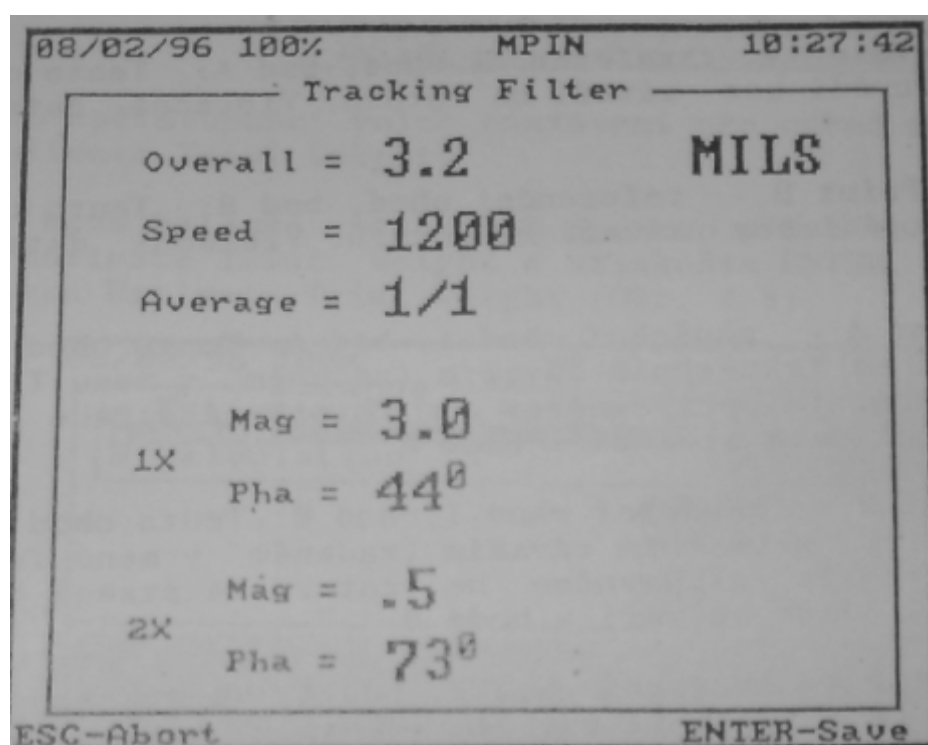
8.2 Modul měření

V menu Balance přejdeme do podskupiny Take Data a stiskneme ENTER. Zobrazí se nám tři možnosti výběru, které vidíme na následujícím obrázku.



[7] Obr. 24: Menu Balance

- Reference Run - referenční chod, provádí při sběru dat bez pomocného závaží
- Trial Run #1 - zkušební chod s pomocným závažím
- Trim Run - vyvažovací chod
- provádí se po přidání vyvažovacího závaží podle výpočtu
v Correction Weight



[7] Obr. 25: Měření Reference Run

9 Normy pro vyvažování

ČSN 12 2011 – Ventilátory – maximálně přípustné hodnoty mechanického kmitání

Výkon pohonu, kW	do 15*)		15 až 75		75 až 300		nad 300		Poznámka s_r pro $5 \text{ s}^{-1} \leq n < 10 \text{ s}^{-1}$ v_e pro $n \geq 10 \text{ s}^{-1}$
Skupina	I		II		III		IV		
Uložení	T	P	T	P	T	P	T	P	
Klasifikační třída	2	4	3	5	4	6	5	7	
limitní hodnoty mohutnosti kmitání $v_e \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$	1,4	A							28
	1,8								35,5
	2,24		A						45
	2,8	B							56
	3,55		B	A			A		71
	4,5		B		B	A			90
	5,6	C		B			B	A	112
	7,1		C			B			140
	9,0	D	C		C			B	180
	11,2		D	C			C		224
	14,0		D		D	C			280
	18,0			D			D	C	355
	22,4					D			450
	28,0							D	560
									limitní hodnoty výkmitu výchylky $s_r, \mu\text{m}$

[8] Obr. 26: ČSN 12 2011

ČSN ISO 1925: 2001 – Vibrace – Vyvažování – Slovník

ČSN ISO 10814:1996 – Vibrace – Náchylnost a citlivost strojů na nevyváženost

ČSN ISO 11342:1998 – Vibrace – Metody a kritéria vyvažování pružných rotorů

ČSN ISO 1940-1:2003 – Vibrace – Požadavky na jakost vyvážení tuhých rotorů
v konstantním (tuhém) stavu – Část 1: Stanovení vyvažovacích
tolerancí a ověření nevyváženosti

ČSN ISO 1940-2:1997 – Vibrace – Požadavky na jakost vyvážení tuhých rotorů – Část 2:
Chyby spojené s vyvažováním

10 Provozní vyvažování v praxi

10.1 Třípolohová metoda

Tuto metodu lze uplatnit na místech, kde kvůli negativním vlivům prostředí nelze aplikovat zařízení pro měření fáze. Je potřeba minimálně 5 rozběhů stroje.

- zkušební běh pro změření efektivní hodnoty vibrací před samotným vyvážením,
- první běh s přidaným pomocným závažím na 0° ,
- druhý běh s pomocným závažím na 120° ,
- třetí běh s pomocným závažím na 240° ,
- kontrolní běh.

Typické využití třípolohové vyvažovací metody pro vyvažování zobrazuje následující příklad:

Je potřeba vyvážit ventilátor chladicí věže. Jsou zde špatné klimatické podmínky – mlha, pára. Předpokládáme, že technický stav stroje je dobrý.

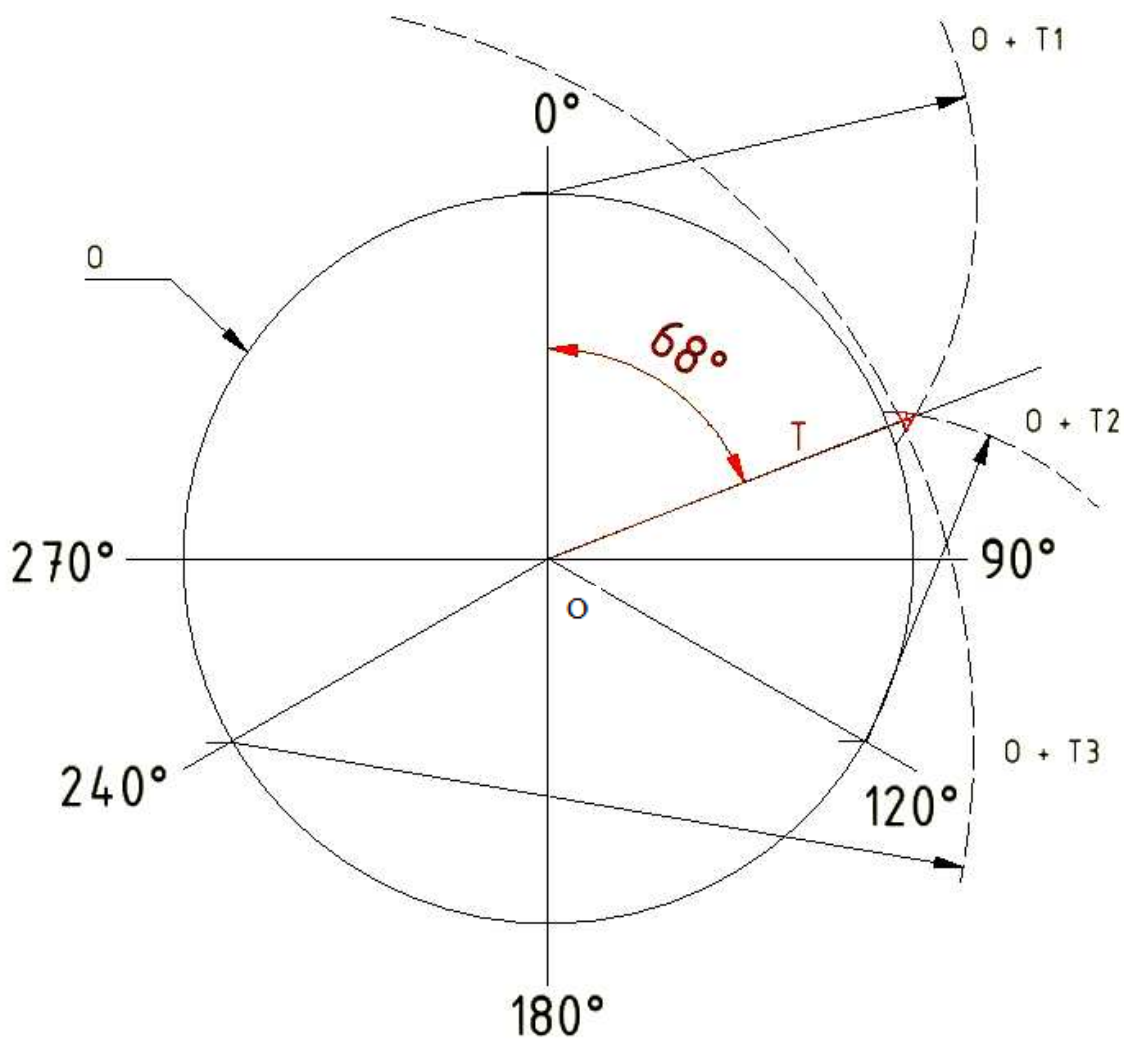
Postup, jakým provedeme vyvážení:

1. Uvedeme motor do provozních otáček a změříme v_{ef} vibrací ventilátoru.
2. Odhadneme velikost zkušebního vývažku TW a postupně jej budeme umisťovat do poloh 0° , 120° a 240° na rotoru.
3. Změříme v_{ef} (označení v tabulce číslo 3 $O + T_1$, $O + T_2$ a $O + T_3$) se zkušebním závažím na pozicích 0° , 120° a 240° na rotoru.
4. Výpočet provedeme graficky. Kolem zvoleného počátku O opíšeme kružnici O o poloměru rovným velikosti v_{ef} bez pomocného vývažku v odpovídajícím měřítku (v tab. 3 označení O).
5. Na kružnici O vyznačíme místa odpovídající 0° , 120° a 240° .
6. V místě 0° opíšeme kružnici o poloměru $O + T_1$, kolem bodu v místě 120° opíšeme kružnici o poloměru $O + T_2$ a v bodě v místě 240° opíšeme kružnici o poloměru $O + T_3$.

7. Všechny tři kružnice by se měly protnout v jednom bodě, ale vlivem nepřesnosti měření vzniknou tři průsečíky. Spojíme-li je, vznikne nám trojúhelník. Spojením jeho těžiště s počátkem O získáme velikost příčinkového činitele na obrázku číslo 27 nese označení T . Úhel, který svírá T , je úhlem umístění vývažku.

Proces	Označení	Velikost
Zkušební běh	O	6,2 mm/s
Zkušební závaží	TW	227g @ 0°
1. běh	$O + T_1$	7,3 mm/s
Zkušební závaží	TW	227g @ 120°
2. běh	$O + T_2$	5,7 mm/s
Zkušební závaží	TW	227g @ 240°
3. běh	$O + T_3$	12,7 mm/s

Tab. 3: Naměřené hodnoty



Obr. 27: Konstrukce třípolohové metody

8. Velikost vývažku vypočteme pomocí následujícího vztahu:

$$Wt = TW \times \frac{O}{T}$$

$$Wt = 227 \times \frac{6,2}{6,6}$$

$$Wt = \mathbf{212g}$$

Vývažek o hmotnosti 212g umístíme na rotor do polohy 68° a provedeme kontrolní měření.

10.2 Vektorová (jednopolohová) metoda

Tato metoda patří mezi nejjednodušší a na její aplikaci je potřeba zařízení s možností měření fáze. Tuto metodu využívá většina přístrojů na vyvažování. Vyžaduje poměrně málo rozběhů stroje, tj. minimálně 3.

Využití vektorové metody si můžeme zobrazit na následujícím teoretickém příkladě:

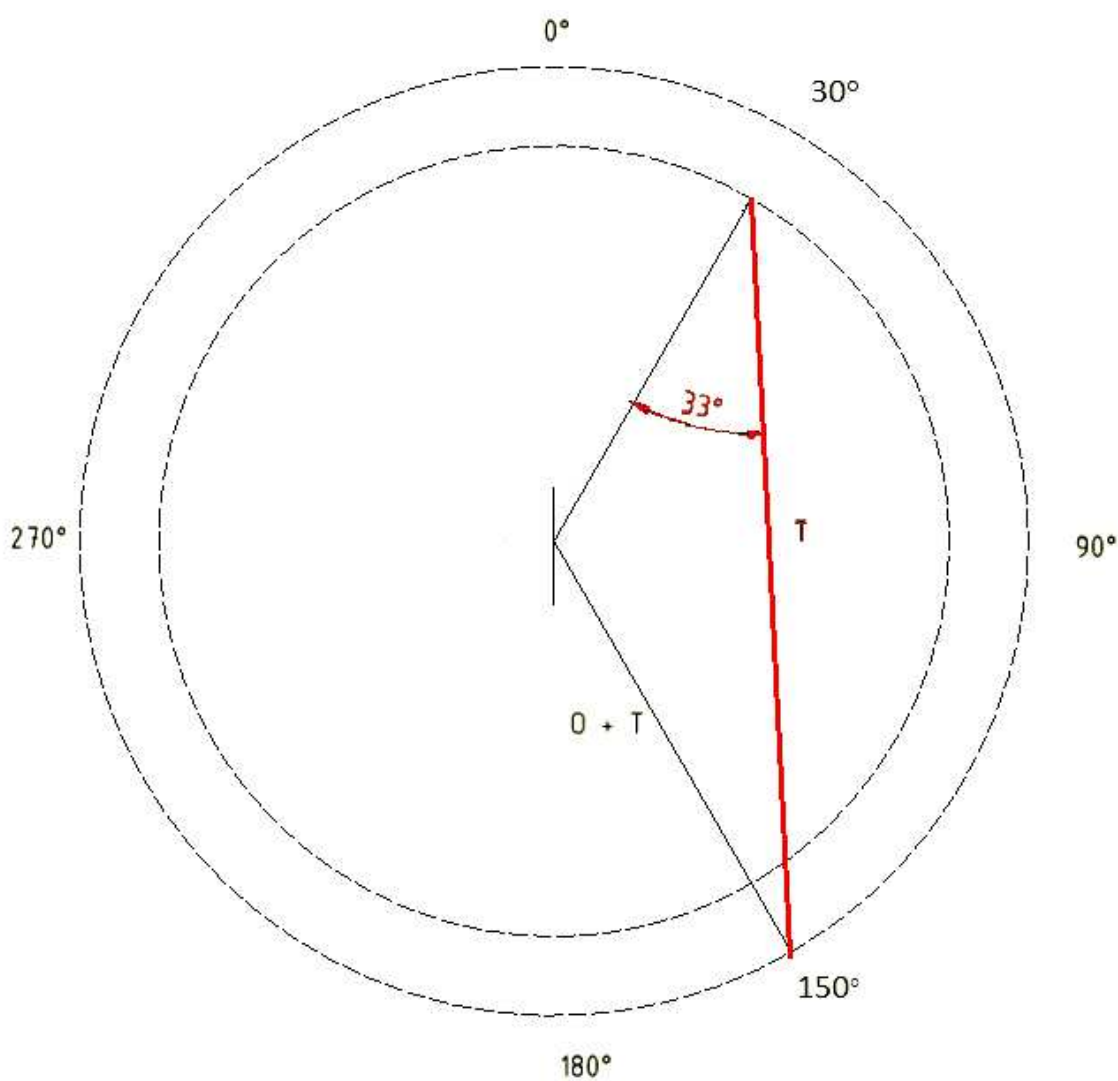
Je potřeba vyvážit ventilátor, který vhání vzduch do pece. K zařízení je velmi dobrý přístup, má vyhovující technický stav, nejsou zde žádné negativní vlivy okolí, rotor má dostatečné otáčky a je zde možno použít zařízení pro měření fáze.

Pracovní postup:

1. Uvedeme motor do provozních otáček a změříme v_{ef} a fázi (v tabulce označení O).
2. Na libovolné místo na rotoru umístíme zkušební vývažek TW .
3. Opět uvedeme rotor do provozních otáček a změříme fázi a v_{ef} (označení v tabulce $O + T$).
4. Vyhodnocení provedeme graficky tak, že ve zvoleném měřítku vyneseme do polárního diagramu oba vektory kmitů (obrázek 28). Rozdíl těchto dvou vektorů je velikost příčinkového činitele (na obrázku 28 nese označení T). Úhel, který svírá T s O udává úhel umístění hledaného vývažku.

Proces	Označení	Velikost
Zkušební běh	O	12,7 mm/s @ 30°
Zkušební závaží	TW	85g @ 0°
1. běh	O + T	15,2 mm/s @ 150°

Tab. 4: Naměřené hodnoty



Obr. 28: Vektorová (jedinopolohová) metoda

5. Hmotnost vývažku určíme z následujícího vzorce:

$$Wt = TW \times \frac{O}{T}$$

$$Wt = 85 \times \frac{12,7}{24,2}$$

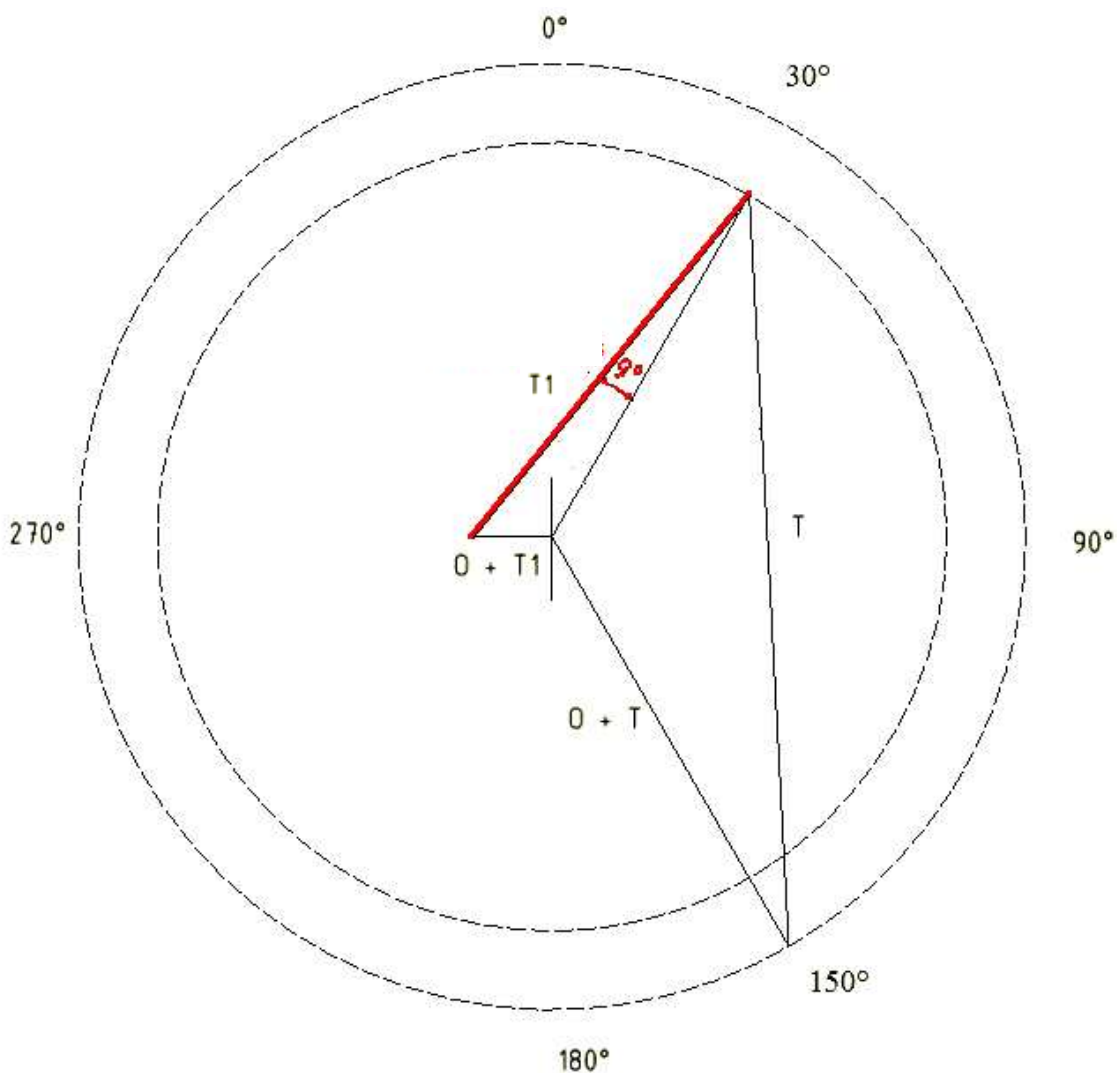
$$Wt = 45g$$

6. Vypočtený vývažek 45g se umístí na určené místo 33° na rotoru a provede se kontrolní měření. Pokud nejsme s vyvážením spokojeni, provedeme dovyvážení.

Proces	Označení	Velikost
Kontrolní běh	$O + T_1$	$2,54 \text{ mm/s @ } 270^\circ$
Dovývažek	TrWt	$45 \text{ g @ } 9^\circ$
Finální vibrace	$O + T_2$	$0,05 \text{ mm/s @ } 20^\circ$

Tab. 5: Naměřené hodnoty

7. Do polárního diagramu zakreslíme výsledek kontrolního měření. Zkonstruujeme příčinkový činitel, v obrázku 29 označení T_1 .



Obr. 29: Vektorová (jednopolohová) metoda

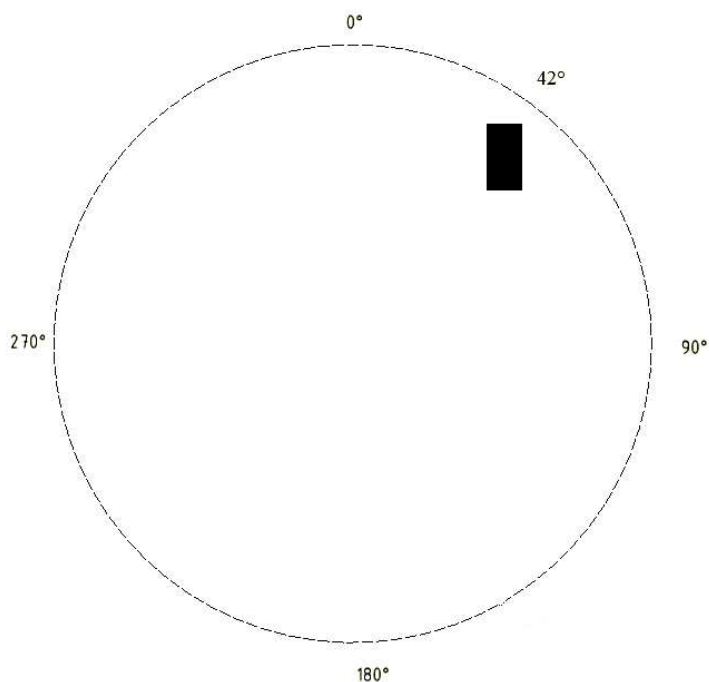
8. Úhel 9° udává o kolik stupňů ve směru hodinových ručiček bude nový vývažek posunut od původní polohy (33°). Hmotnost dovývažku určíme z následujícího vztahu:

$$TrWt = Wt \times \frac{O}{T_1}$$

$$TrWt = 45 \times \frac{12,7}{14,2}$$

$$TrWt = \mathbf{40g}$$

9. Umístíme vývažek o hmotnosti 40g do polohy 42° na rotoru a provedeme kontrolní měření.



Obr. 30: Umístění konečného vývažku na rotoru

Nyní jsme dosáhli dobrého výsledku. Vývažek o hmotnosti 40g, umístěný na pozici 42° na rotoru snížil v_{ef} z původních 12,7mm/s na hodnotu 0,05mm/s.

10.3 Měření z praxe: Měření, ustavení a vyvážení kompenzátoru Alice v dolech Lazy



[7] Obr. 31: Kompenzátor Alice K1, důl Lazy

ŠKODA		ŠKODA koncernový podnik PLZEŇ	
SYNCHRONNÍ	KOMPENS.	3	TYP HK 620712/6
PROV.	IP44	TVAR IM7310	ČÍS. 033946
	kW		kVA
50 Hz	cos φ 0,0	15000	kVar
SPOJENÍ	Y	6300	V
BUZENÍ		23-79	V
		1375	A
		193-555	A
		IZOL.	B 58000 kg
		1985	ČSN 360000

[7] Obr. 32: Technické údaje

Firma Dif ve dnech 31.8.2009 – 16.9.2009 prováděla ustavení a vyvážení ve dvou rovinách kompenzátorové stanice K1 Alice v dolech Lazy.

Nejprve bylo nutné analyzovat technický stav stroje. Z analýzy vyplynulo nutné ustavení stroje. Z geometrických měření bylo zjištěno, že základová deska na úrovni držáku pružin je deformována. Deformace může být způsobena buď špatnou konstrukcí, nebo špatným ustavením. Vložením distančních podložek bylo dosaženo srovnání všech dosedacích ploch do přibližně stejné výšky.



[7] Obr. 33: Vypodložená základová deska

Po úspěšném ustavení bylo možné provést vyvážení. Vyvažovalo se ve dvou rovinách. Podrobnější výsledky měření jsou uvedeny v příloze č.1.



Obr. 34: Umístění akcelometru a měřiče fáze



Obr. 35: Umístění vyvažovacího závaží

Vyvažování bylo prováděno měřicím přístrojem SKF Microlog CMVA10.



Obr. 36: SKF Microlog CMVA10

Závěr

V práci jsou shrnuty základní metody a teorie z oblasti vyvažování v jedné rovině.

Jsou zde vypočítány příklady z vyvažování v jedné rovině metodou třípolohovou a vektorovou (jednopolohovou). V závěru jsou pak uvedeny zkušenosti z provozních vyvažování, kterých jsem se aktivně zúčastnil.

Z provedených prací je možné říci, že provozní vyvažování je technická metoda, která umožňuje rychle a spolehlivě odstranit nevývahu a tím snížit zatížení strojních dílů. Zvýší se tím životnost ložisek a sníží vibrace na povolenou mez.

Použitá literatura a elektronické zdroje

- [1] BRYCHCY, J., HUDECZEK, M. *Vibrační diagnostika VIB 05 – Vyvažování rotačních strojů*. Bohumín : DTI, 2007, ISBN: DTI 07/VIB 05.
- [2] HELEBRANT, F., ZIEGLER, J. *Technická diagnostika a spolehlivost – II. Vibrodiagnostika*. 1. Vyd. VŠB – TU Ostrava 2004. 178 s., ISBN 80–248–0650–9.
- [3] NĚMEČEK, P., TOMEH, E. *Vibrační diagnostika VIB 03 – Vibrační diagnostika základních závad strojů*. Bohumín : DTI, 2007, ISBN: DTI 07/VIB 03.
- [4] <<http://www.skf.com>>
- [5] <<http://www.lamikappa.cz>>
- [6] JULIŠ, K., BORŮVKA, V., FRYML, B. *Základy dynamického vyvažování*. PRAHA : SNTL, 1979.
- [7] Firemní podklady společnosti Dif, Bohumín-Skřečůň.
- [8] BILOŠ, J. *Vibrační diagnostika VIB 07 – Přehled norem z oblasti vibrační diagnostiky*. Bohumín : DTI, 2007, ISBN: DTI 07/VIB07.
- [9] *Zákon č. 121/2000 Sb. ze dne 7. dubna 2000 o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.*
- [10] ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [11] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

- [12] PETRUŽELKA, J. *Ročníkový projekt. Jak psát bakalářskou práci* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 21. 10. 2006 [cit. 2007-04-10]. Dostupný z www: <URL: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Jak%20psat.pdf>>.

Seznam příloh

Příloha č. 1 - Důl Lazy - Kompenzátor K1 Alice

Příloha č. 2 - ŽDB GROUP,a.s., závod TT VIADRUS - EXHAUSTOR CD



...a už nikdy žádná porucha !



Měření a ustavení geometrie, vyvážení ve dvou rovinách

Důl Lazy, Kompensátor K1 Alice

Naše nabídka č.: N09051
Naše zakázka č.: Z09051
Vaše objednávka č.:
Práce provedl: Radim Falc, Václav Slabý
Datum realizace: 31.08. -16.09.2009
Datum vyhodnocení: 17.09.2009
Vyhodnotil: Radim Falc, Václav Slabý
Schválil: Radim Falc
Počet stran: 8
Počet příloh: 0

Obsah:

OBSAH:	1
1.,2. POPIS, ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ	2
1. POPIS:.....	2
2. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ:.....	2
3. POPIS ZAŘÍZENÍ A ÚČEL MĚŘENÍ	3
4. POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A VYBAVENÍ	3
5. POPIS MĚŘENÉHO ZAŘÍZENÍ (STROJE)	3
6. NAMĚŘENÉ HODNOTY	4
NAMĚŘENÉ VÝŠKOVÉ PROFILY BETONOVÉ DESKY ZE 14.9.2009	5
PODÉLNÝ PROFIL	6
PŘÍČNÝ PROFIL	7
NAMĚŘENÉ HODNOTY PŘED A PO USTAVENÍ	8
TLOUŠŤKA PODKLADOVÝCH PLECHŮ.....	8
7.DYNAMICKÉ VYVÁŽENÍ	9
ZÁVĚR:.....	9
DOPORUČENÍ:.....	9
8.VYVÁŽENÍ	10
9.SPEKTRA VIBRACÍ PŘED A PO VYVÁŽENÍ	10
10. PŘÍLOHY: VÝPIS Z NOREM A DOPORUČENÍ:	13
A.VIBRACE JSOU HODNOCENY DLE: ČSN 12 2011, TABULKA 3 – TYPICKÉ HRANICE PÁSEM	13
B. DOPORUČENÍ VÝROBCE PRO K1	13

1.,2. Popis, závěry a doporučení - optická měření

1. Popis:

- Z provedených měření geometrie vyplývá, že základová deska na úrovni držáku pružin je deformovaná (zlomená). Toto může být způsobeno buď vadnou konstrukcí nebo chybou ustavení.
- Je nutné změřit horní plochu betonové základové desky, aby bylo možné zjistit, zda-li je deformován i tento povrch desky.
- Vložení podložek pod dosedací plochu pružin způsobilo jejich přibližně stejnou výšku a tím i stejné zatížení pružin (byla srovnána deformace základové desky na úrovni držáku).
- Bod A1,B1 je nejvýše.

16.9.2009

- Byla ustavena horní betonová deska a železný základ kompenzátoru ALICE. Ustavení bylo provedeno pomocí stavěcích šroubů nosné konstrukce celého kompenzátoru.
- Odchyłky od vodorovnosti základu dosahovaly max. 4,3mm posunu stavěcího šroubu.
- Po ustavení jsou max.odchyłky od vodorovnosti základu 1,0mm posunu stavěcího šroubu.
- Nyní je základová deska pod kompenzátořem dobře ustavena do vodorovné roviny

2. Závěry a doporučení:

- Řešení
- Změřit geometrii (profil) horní betonové základové desky
- Přilepit pevné měřické body na beton
- Ustavovat na 6 patkách hydraulikou tak, až bude základový ocelový rám pod kompenzátory v niveletě a zároveň měřit i rovinnost základové desky tak, aby nedošlo k její deformaci.

16.9.2009

- Nyní je základová deska dobře ustavena – doporučuji **PROVOZ**.
- Doporučuji podložit kompenzátory pod pravým rohem blíže u ovládacího panelu podkladovými plechy, aby došlo ke stejnému zatížení pružin – nyní je tato oblast (oblast 3 pružin) měkká.(viz.poslední obrázek). Pouze nahradit stávající plechy za uvedené.
- V případě problémů, nutné nové ustavení

3. Popis zařízení a účel měření

Byla prováděna měření geometrie základu. Měření se skládalo z měření výšky.

Měřením výšky se rozumí, stanovení odchylek válců od vodorovné roviny. Měřeno ve směru tíže, ve svislé rovině.

4. Použité měřicí přístroje a vybavení

Stroj	Výrobní číslo
Nivelační přístroj Wild N3	500773

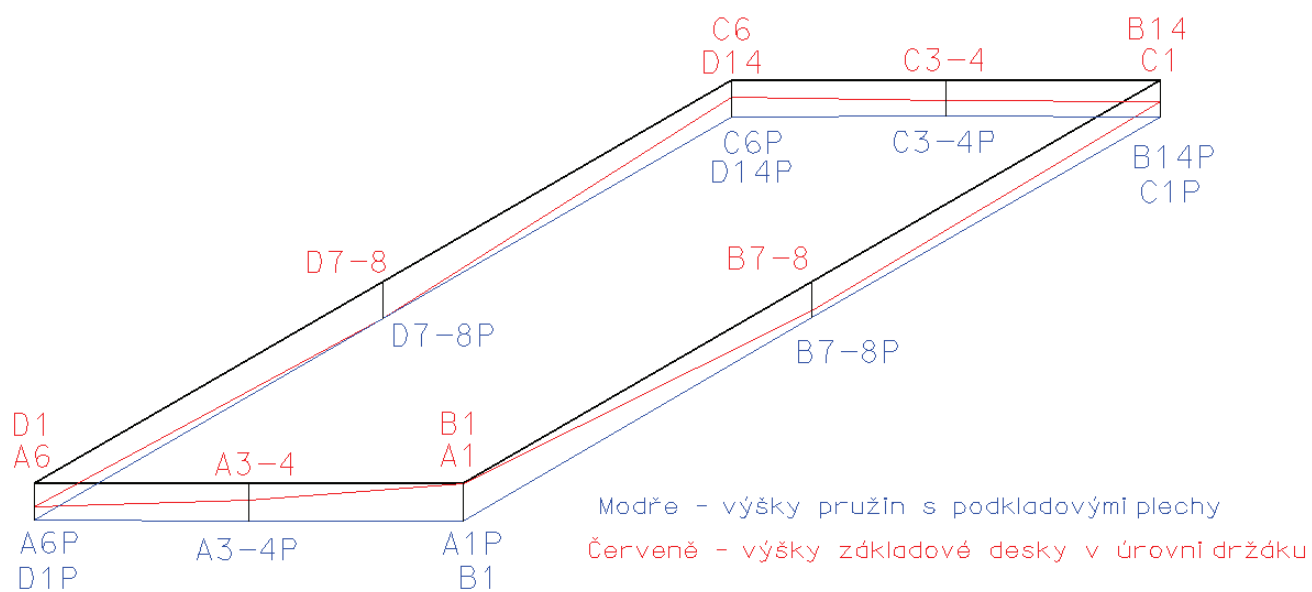
5. Popis měřeného zařízení (stroje)

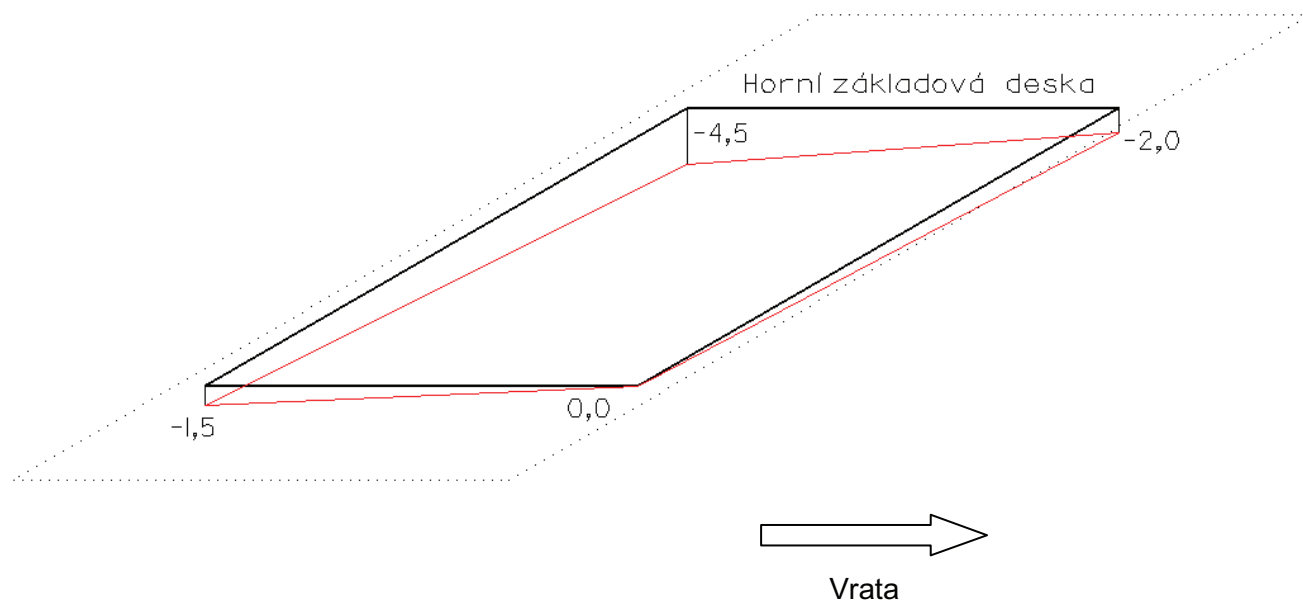
Obr.1 Kompenzátory s podkladovými plechy



6. Naměřené hodnoty

	Výška dolní	Výška pružin	Tloušťka plechu	Pružiny	Výška horní
	mm	mm	mm	mm	mm
A1	0,0	358,0	20,0	338,0	0,0
A3-4	-15,0	350,0	10,0	340,0	
A6	-18,0	342,0	10,0	332,0	-1,5
B1	0,0	364,0	15,0	349,0	
B7-8	-26,5	333,0	5,0	328,0	
B14	-17,5	355,0	18,0	337,0	
C1	-20,0	351,0	15,0	336,0	-2,0
C3-4	-18,5	345,0	12,0	333,0	
C6	-17,0	352,0	17,0	335,0	-4,5
D1	-24,0	342,0	10,0	332,0	
D7-8	-34,0	335,0	0,0	335,0	
D14	-12,0	362,0	20,0	342,0	

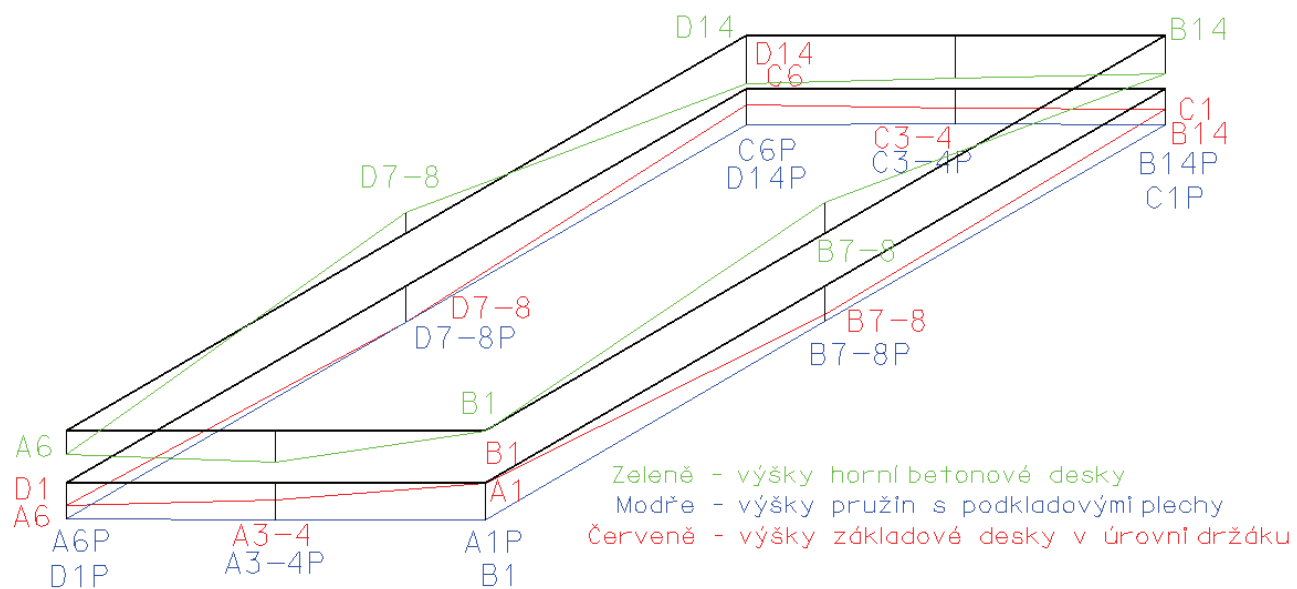




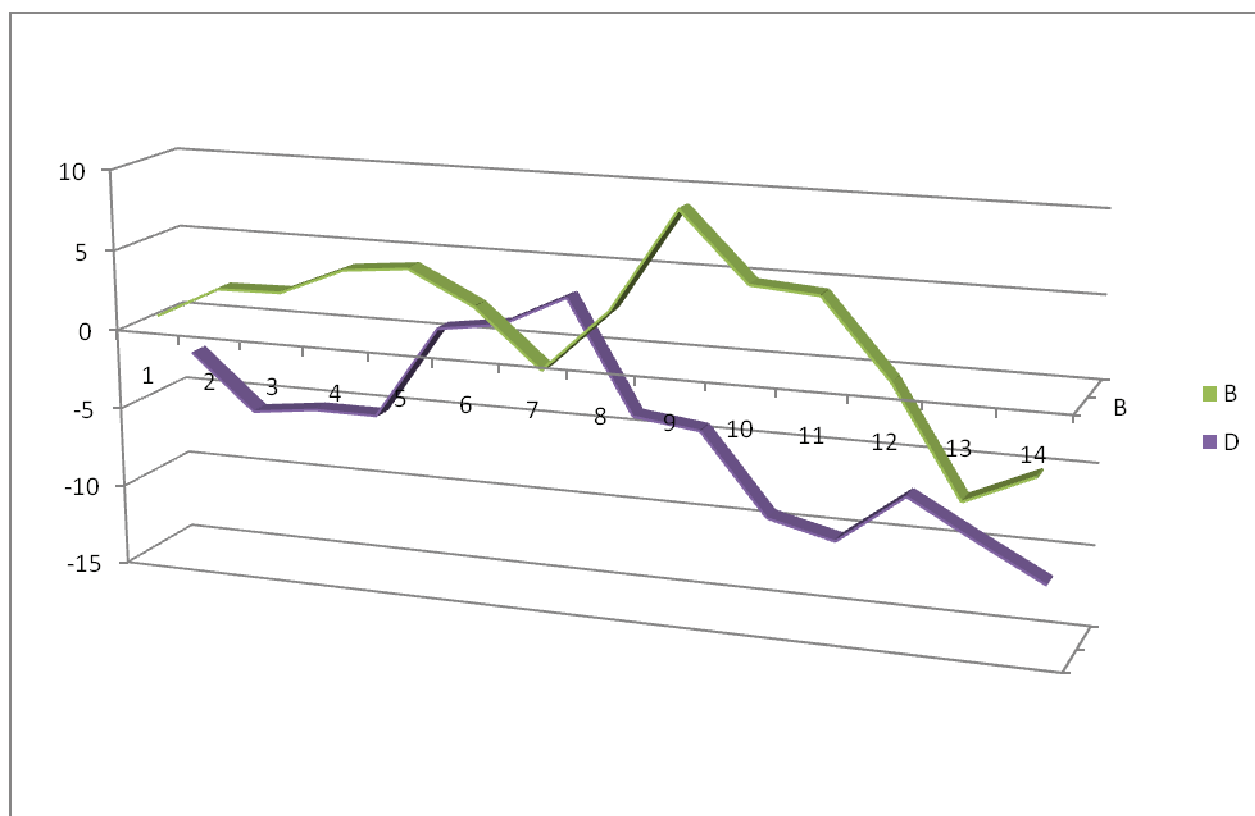
Naměřené výškové profily betonové desky ze 14.9.2009

Výška horní bet.desky

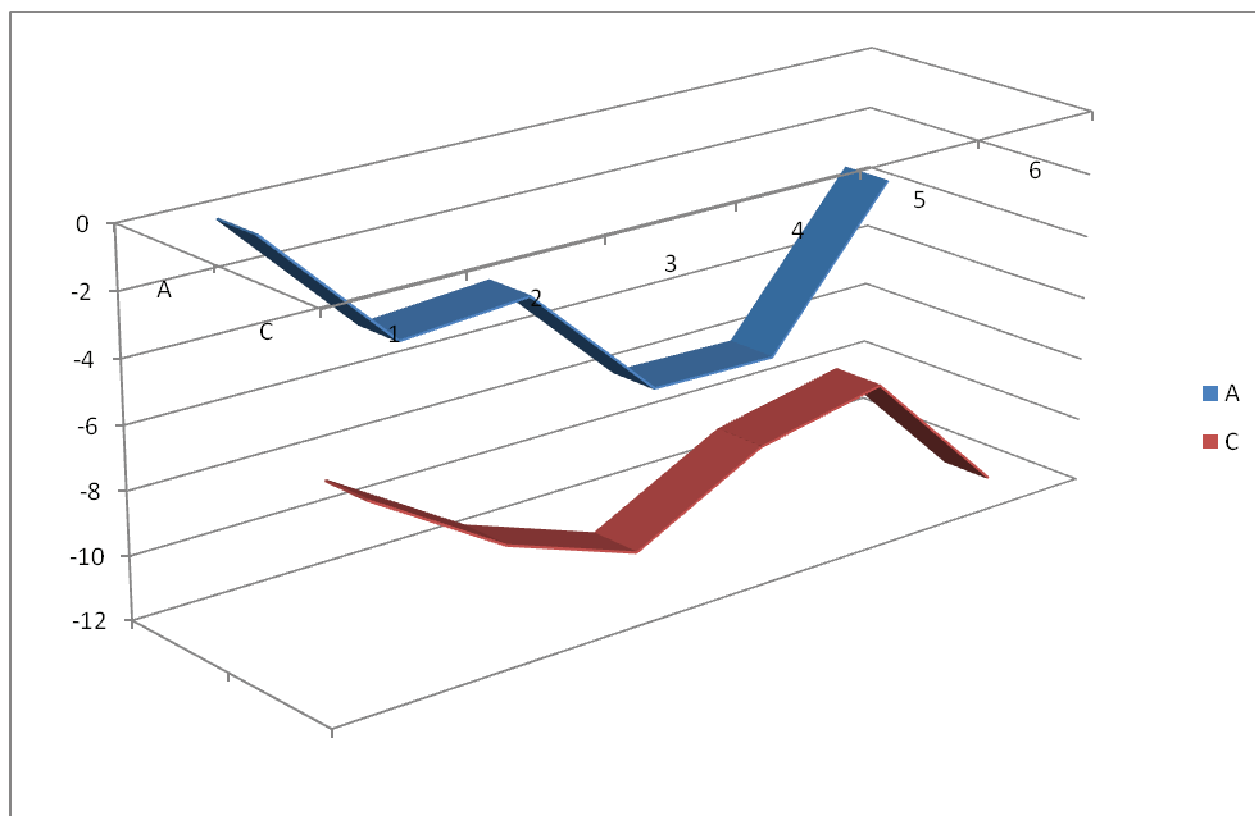
D	mm	B	mm	A	mm	C	mm
1	-2,5	1	0,8	1	0	1	-6,4
2	-6	2	2,8	2	-4,2	2	-9
3	-5,5	3	2,9	3	-3,9	3	-10,5
4	-5,5	4	4,6	4	-7,9	4	-8,4
5	0,4	5	5	5	-8	5	-7,6
6	1	6	3	6	-3,2	6	-11,8
7	3,0	7	-0,5				
8	-4	8	3,4				
9	-4,5	9	9,7				
10	-9,5	10	5,6				
11	-10,5	11	5,3				
12	-7,3	12	0,6				
13	-9,6	13	-6				
14	-11,8	14	-4,1				



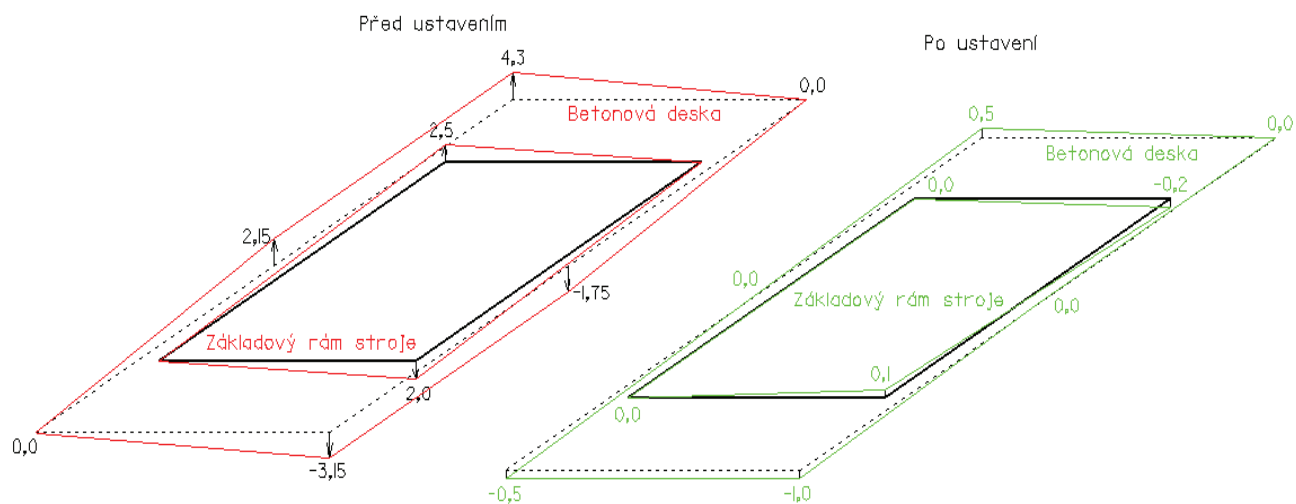
Podélný profil



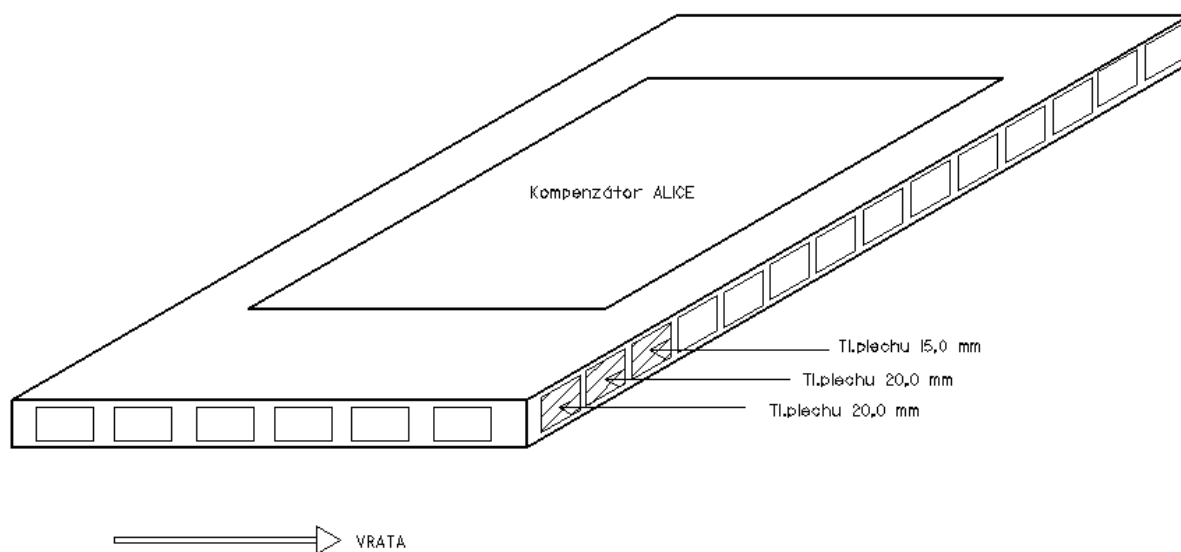
Příčný profil



Naměřené hodnoty před a po ustavení



Tloušťka podkladových plechů





7. Dynamické vyvážení
Podnik: Kompenzátor K1 Alice
Stroj: Důl Lazy

Číslo zakázky:
Z09051
Stran: 1 z 2

Zhotovitel:	dif spol. s r.o. ul.1.máje 433, 735 31 Bohumín-Skrečůň		
Objednatel:	H+R Ostroj		
Objednávka číslo:	Zakázka Z09051		
Kontaktní osoba:			
Měřicí zařízení:	Analyzátor Microlog	Výr.č.:5229	CMVA 10
	Vyvaž. Reutlinger	Výr.č.:5.701.034/08	
	Snímač	Výr.č.:S3257	CMSS 2200
Druh měření, popis stroje:	Dynamické vyvážení ve dvou rovinách, analýza vibrací		
Datum :	Měření: 10.a 11.9.2009	Odesláno: 20.9.2009	
Měřil:	Radim Falc Ondrej,Dvouletý, Václav Slabý		
Schválil:	Radim Falc		

Vibrace	Měřené veličiny	Jednotky	L1	L2	L1 Závaží	L2 Závaží
1.měření před vyvážením	VEL H	mm/sec	3,15	1,7	0	0
	VEL V	mm/sec	1,47	2,16	0	0
	VEL A	mm/sec				
	ENV	gE				
2.měření po vyvážení	VEL H	mm/sec	0,7	0,5	6700g/ 225 ⁰	9000/135 ⁰
	VEL V	mm/sec	1,2	0,7		
	Zlepšení H	%	77%	70%		
	Zlepšení V	%	18%	67%		

Závěr:

Vyvažováno bylo současně ve dvou rovinách a dvou směrech. Systém byl z počátku silně nelineární a kmital „po přímkce“. Na tento stav má vliv stav základu. Základ byl ustaven. Stroj je možné provozovat bez omezení, vyhovuje pasportu - výchylky vibrací do 100 µm. Hodnoty na domcích nepřekračují hodnotu 20 µm. Základy kmitaly uhlopříčně – 5,8 mm/sec a 2,0 mm/s. Po vyvážení se staly i tyto lineární 2,6 mm/s ku 2,3 mm/sec.

Doporučení: PROVOZ / OPRAVA

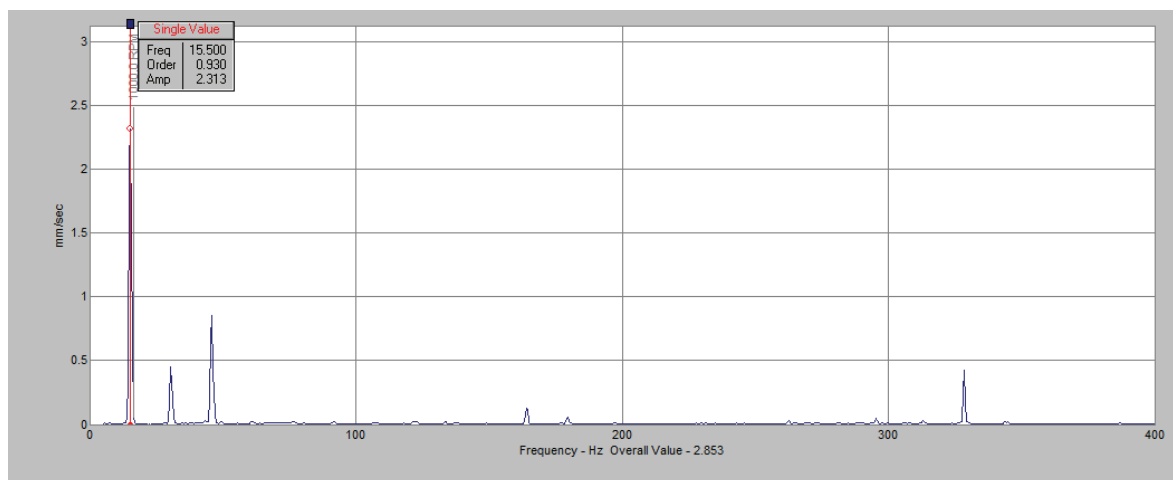
Domníváme se, že stroj je možné ustavit a vyvážit ještě lépe. – představuje to však nejméně 2-3 dny práce.

Postup:

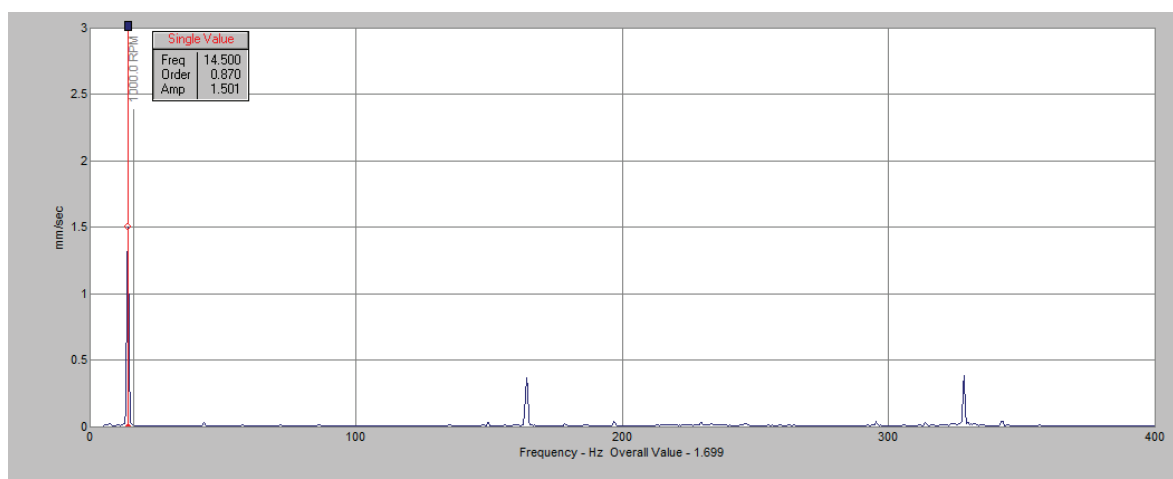
- Ustavení s novými vymešovými podložkami (viz obr.Tloušťka podkladových plechů)
- Pečlivé vyvážení e závažími do hmotnosti 1000 g.

8.Vyvážení	Popis	L1H	L1V	L2H	L2V	L1 Závaží	L2 Závaží
Stroj: K1 Alice							
Měření	Výchozí hodnoty	3,12 mm/s 127<°	1,47 mm/s 101<°	1,7 mm/s 214<°	2,16 mm/s 46<°	0	0
	1.Měření	3,27 mm/s 138<°	2,89 mm/s 121<°	3,88 mm/s 228<°	1,8 mm/s 70<°	6000 67,5<	0
	2.Měření	5.0 mm/s 116<°	1,53 mm/s 70<°	1,2 7mm/s 218<°	3,38 mm/s 32<°	0	6000g 292,5<°
	7.Měření	0,7 mm/s 320<°	1,2 mm/s 220<°	0,5 mm/s 330<°	0,7 mm/s 250<°	6700g 225<°	9000g 135<°

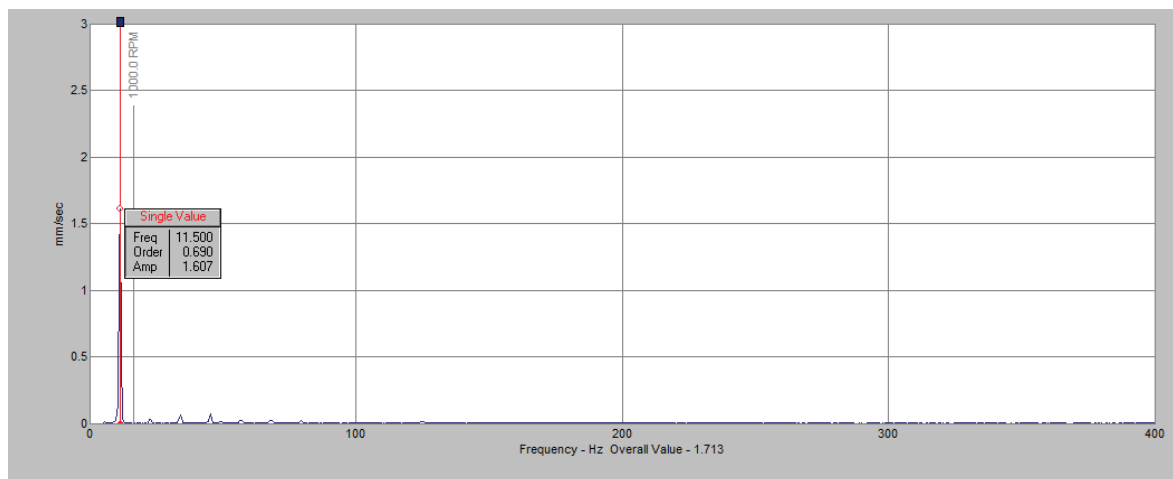
9.Spektra vibrací před a po vyvážení



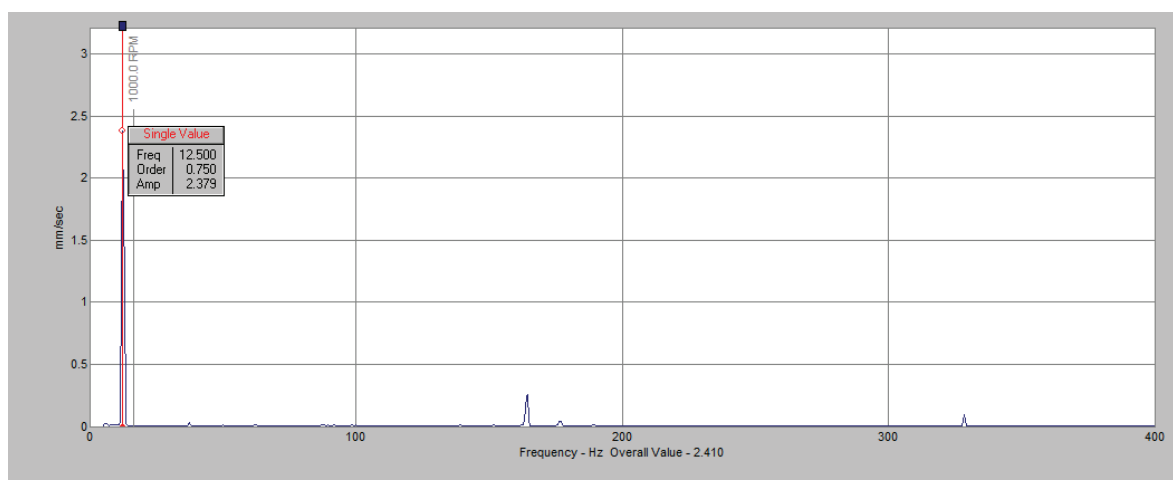
Obr.1 L1H Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz celková hodnota **PŘED** vyvážením 2,13 mm/sec



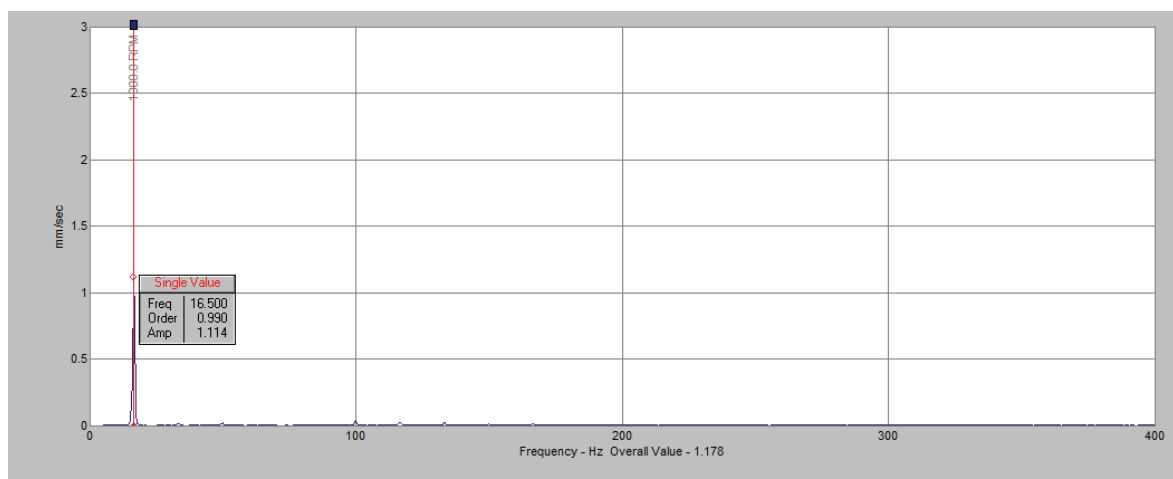
Obr.2 L1V Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz, celková hodnota **PŘED** vyvážením 1,5 mm/sec



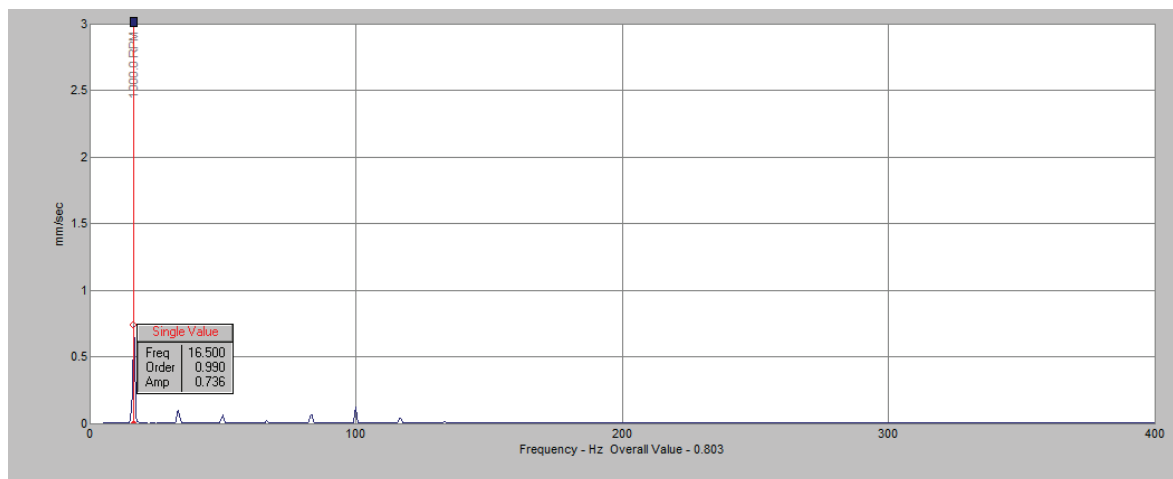
Obr.3 L2H Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz, celková hodnota **PŘED** vyvážením 1,6 mm/sec



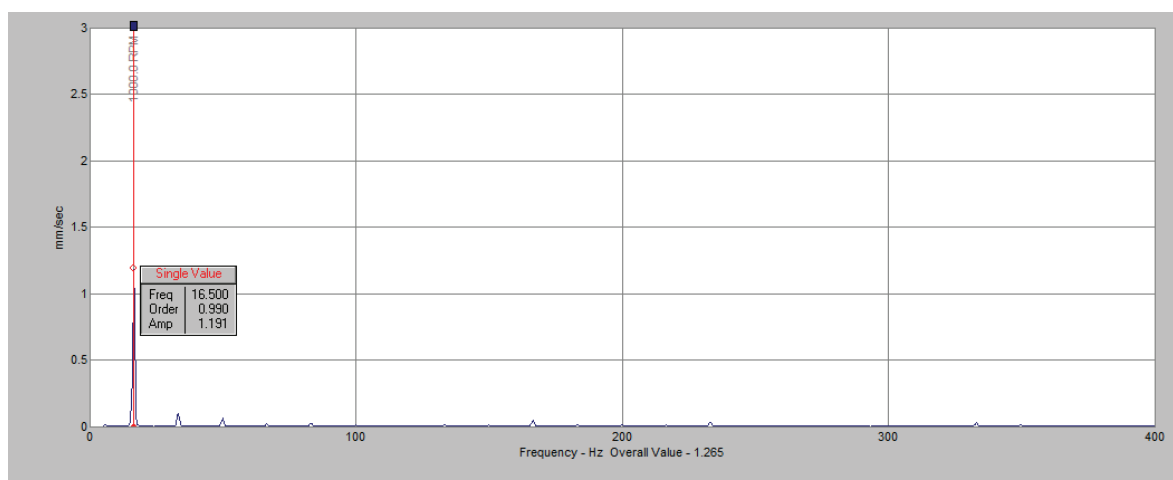
Obr.4 L2V Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz celková hodnota **PŘED** vyvážením 2,3 mm/sec



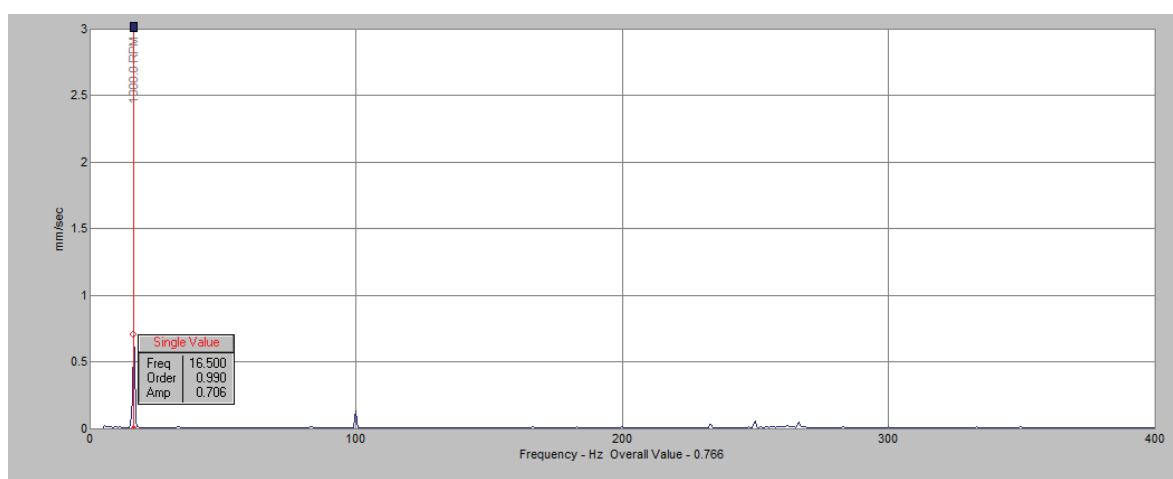
Obr.5 L1H Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz celková hodnota **PO** vyvážením 1,1 mm/sec



Obr.6 L1V Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz celková hodnota **PO** vyvážením 0,73 mm/sec



Obr.7 L2H Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz celková hodnota **PO** vyvážením 1,1 mm/sec



Obr.8 L2V Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz celková hodnota **PO** vyvážením 0,70 mm/sec

10. Přílohy: Výpis z norem a doporučení:

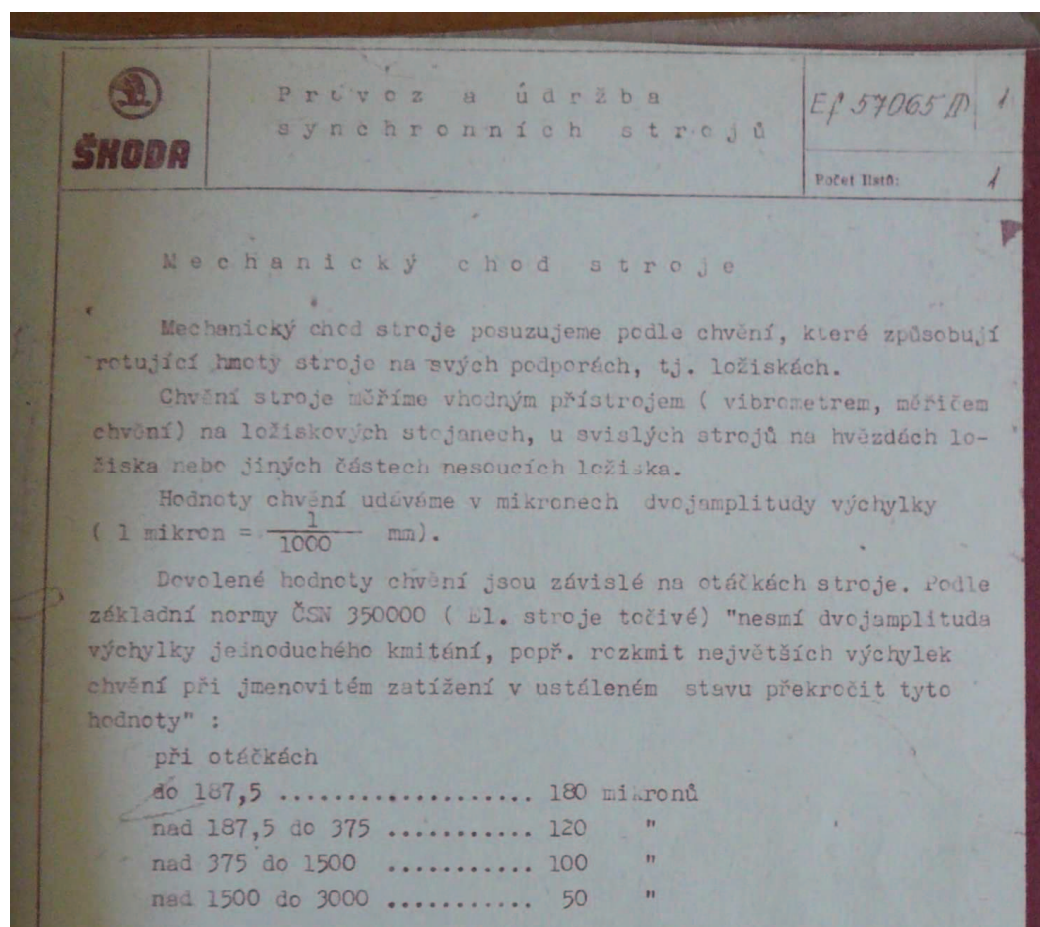
A.Vibrace jsou hodnoceny dle: ČSN 12 2011, TABULKA 3 –
typické hranice pásem

Rozhraní pásem	Klas. třída 5 (15-75 kW)	Klas. třída 6 (75-300 kW)
A/B	3,6 mm/s	4,5 mm/s
B/C	9,0 mm/s	11,2 mm/s
C/D	14,0 mm/s	18,0 mm/s

Pásma hodnocení:

- **Pásmo A, Provoz:** v tomto pásmu mají být za obvyklých podmínek vibrace nových přejímaných strojů.
- **Pásmo B, Provoz:** Stroje jejichž vibrace leží v tomto pásmu, mohou být zpravidla provozovány po neomezeně dlouhou dobu.
- **Pásmo C, Oprava:** Stroje jejichž vibrace leží v tomto pásmu, jsou za normálních okolností považovány za neuspokojivé pro dlouhodobý a trvalý provoz. Obecně mohou být stroje za takovýchto podmínek provozovány do té doby, než se nalezne možnost nápravy.
- **Pásmo D, Stop:** Hodnoty vibrací v rámci tohoto pásma jsou za normálních okolností považovány za natolik nebezpečné, že mohou vyvolat poškození stroje.

B. Doporučení výrobce pro K1





Dynamické vyvážení II.
Podnik: Kompenzátor K1 Alice
Stroj: Důl Lazy

Číslo zakázky:
Z09061
Stran: 1 z 2

Zhotovitel:	dif spol. s r.o. ul.1.máje 433, 735 31 Bohumín-Skřečoň		
Objednatel:	H+R Ostroj		
Objednávka číslo:	Zakázka Z09061		
Kontaktní osoba:			
Měřicí zařízení:	Analyzátor Microlog	Výr.č.:5229	CMVA 10
	Vyvaž. Reutlinger	Výr.č.:5.701.034/08	
	Snímač	Výr.č.:S3257	CMSS 2200
Druh měření, popis stroje:	Dynamické vyvážení ve dvou rovinách, analýza vibrací – Druhé vyvážení		
Datum :	Měření: 30.09.2009	Odesláno: 1.10.2009	
Měřil:	Radim Falc , Václav Slabý		
Schválil:	Radim Falc		

Vibrace	Měřené veličiny	Jednotky	L1	L2	L1 Závaží	L2 Závaží
1.měření před vyvážením 10 a11.9	VEL H	mm/sec	3,15	1,7	0	0
	VEL V	mm/sec	1,47	2,16	0	0
	VEL A	mm/sec				
2.měření po vyvážení 10 a11.9	VEL H	mm/sec	0,7	0,5	6700g/ 225 ⁰	9000/135 ⁰
	VEL V	mm/sec	1,2	0,7		
	DIS H	μm	18,8	24,8		
	DIS V	μm	23	19,3		
3.měření před vyvážením II. 30.9	VEL H	mm/sec	0,97	1,2	6700g/ 225 ⁰	9000/135 ⁰
	VEL V	mm/sec	1,09	0,9		
	DIS H	μm	26,5	30,0		
	DIS V	μm	27,5	24,3		
4.měření po vyvážení II. 30.9	VEL H	mm/sec	0,07	0,45	6700g/ 225 ⁰	9000/135 ⁰
	VEL V	mm/sec	0,31	0,06	2817g/304 ⁰	1767g/0 ⁰
	DIS H	μm	1,9	8,6		
	DIS V	μm	13	1,7		
	ZLEPŠENÍ	H	93%	75%		
	ZLEPŠENÍ	V	53%	94%		

Zlepšení stavu vzhledem k měření 30.9 před II.vyvážením.

Závěr:

11.9

Vyvažováno bylo současně ve dvou rovinnách a dvou směrech. Systém byl z počátku silně nelineární a kmital „po přímce“. Na tento stav má vliv stav základu. Základ byl ustaven. Stroj je možné provozovat bez omezení, vyhovuje pasportu - výchylky vibrací do 100 μm . Hodnoty na domcích nepřekračují hodnotu 20 μm . Základy kmitaly uhlopříčně – 5,8 mm/sec a 2,0 mm/s. Po vyvážení se staly i tyto lineární 2,6 mm/s ku 2,3 mm/sec.

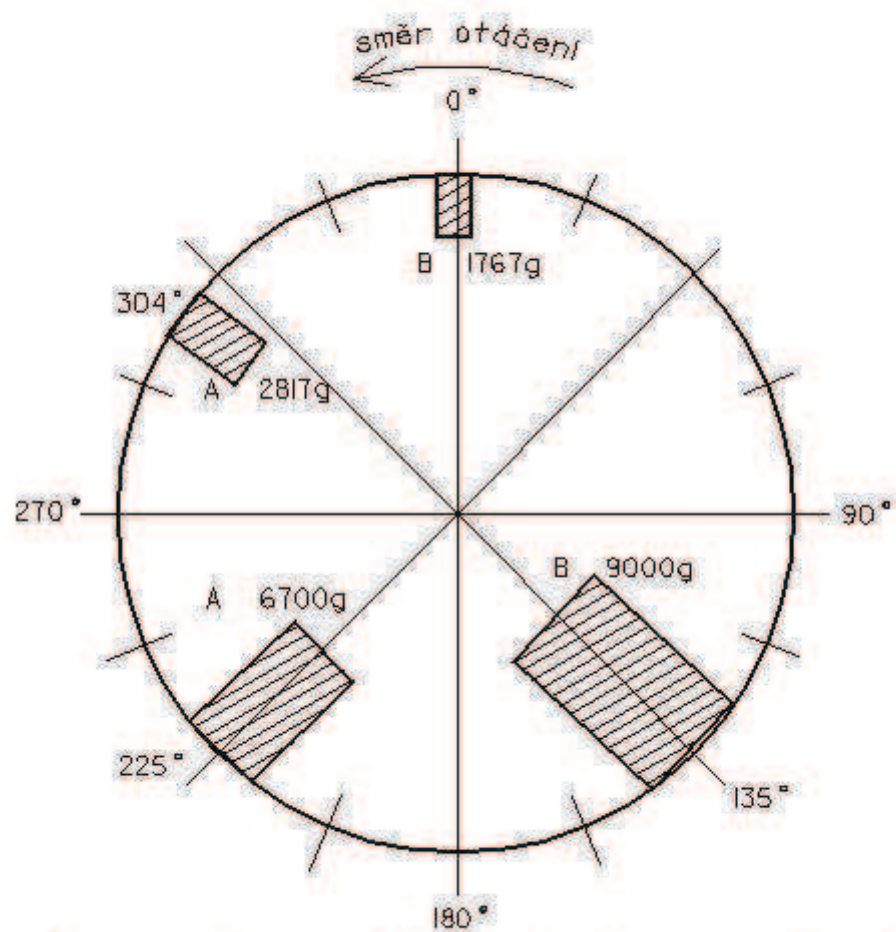
30.9

Bylo provedeno následné ustavení stroje. Stroj je možné provozovat bez omezení. Došlo ke zlepšení stavu nejméně o 59%, nejvíce o 94%. – viz tabulka. Hodnoty na základech klesly na 0,63-0,44-0,84-0,89 mm/sec. Stroj je velmi citlivý na ustavení základové desky.

Doporučení: PROVOZ

Vyvážení	Popis	L1H	L1V	L2H	L2V	L1 Závaží	L2 Závaží
Stroj: K1 Alice							
Měření	Výchozí hodnoty	0,97 mm/s 315<°	1,09 mm/s 230<°	1,2 mm/s 310<°	0,9 mm/s 229<°	0	0
	1.Měření	1,18 mm/s 290<°	1,79 mm/s 203<°	1,8 mm/s 283<°	1,0 mm/s 208<°	2560 90<°	0
	2.Měření	1,45 mm/s 268<°	1,29 mm/s 217<°	1,11mm/s 291<°	1,30 mm/s 178<°	0	2560g 67,5<°
	6.Měření	0,07 mm/s 30<°	0,45 mm/s 287<°	0,31 mm/s 37<°	0,06 mm/s 90<°	2817g 304<°	1767g 0<°

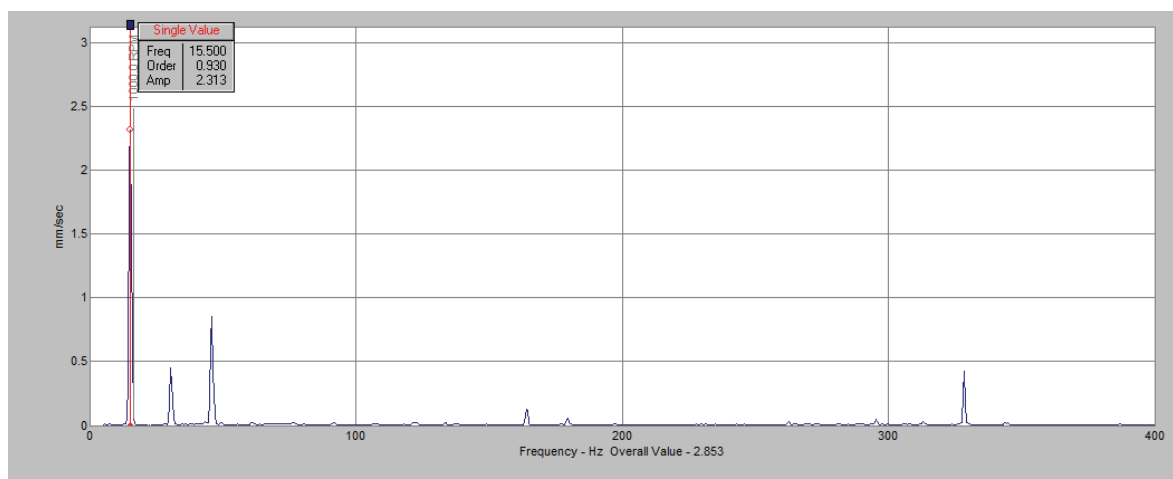
Rozmístění vyvažovacích závaží



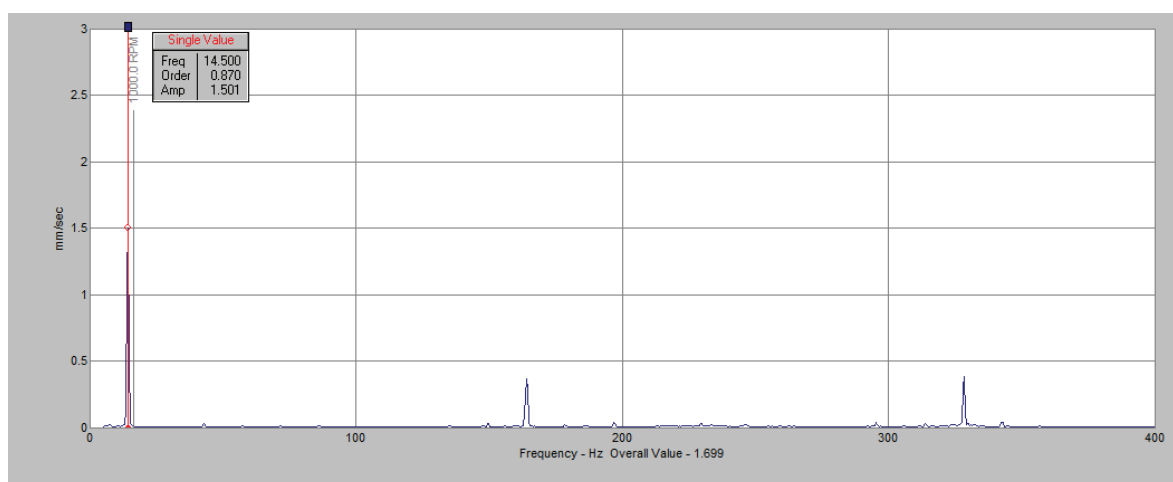
Pohled směrem od ložiska I (ovládací panel) k ložisku 2

Schema.1 Rozmístění vyvažovacích závaží po II. běhu

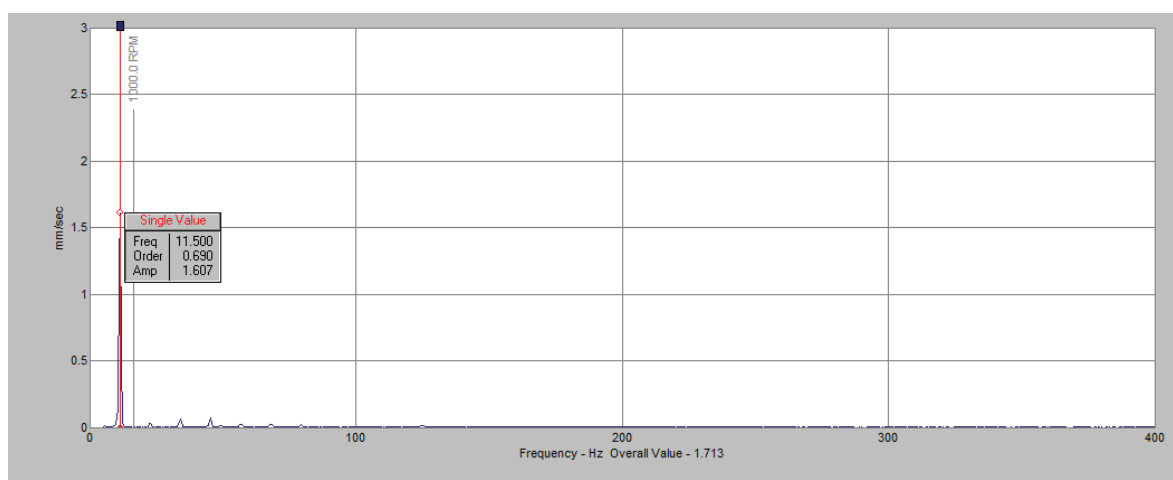
Spektra vibrací před a po I. vyvážení v mm/sec



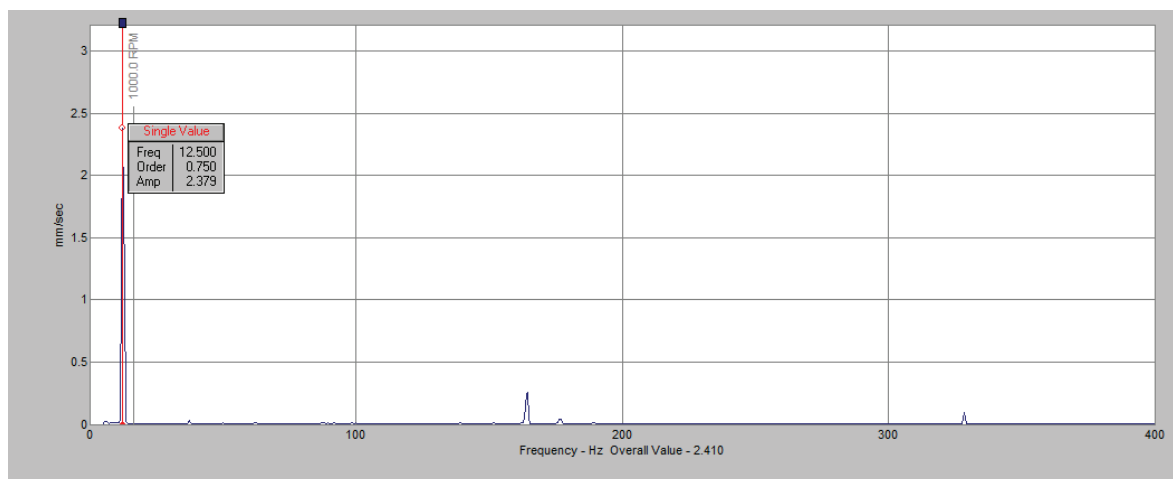
Obr.1 L1H Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz celková hodnota **PŘED** vyvážením 2,13 mm/sec



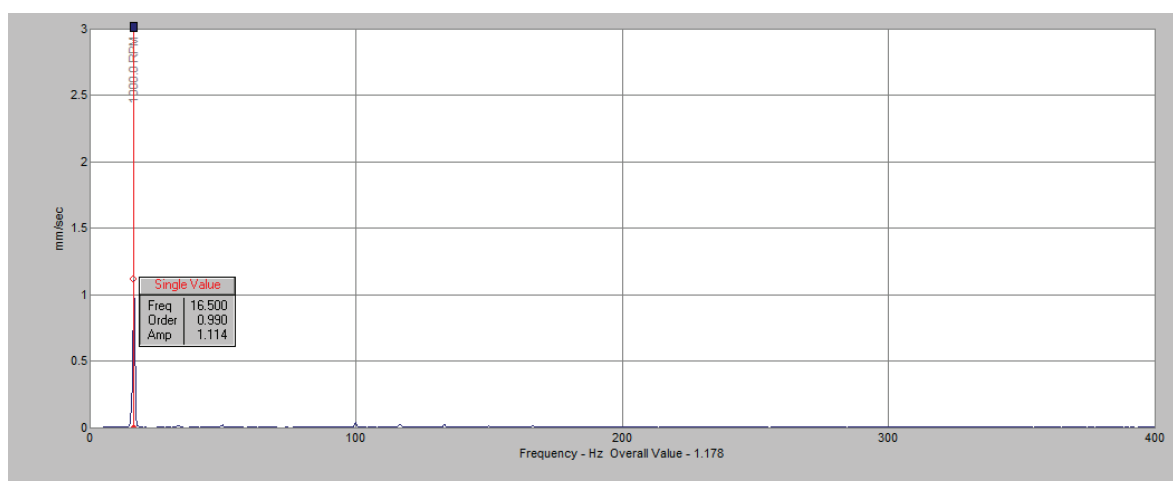
Obr.2 L1V Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz, celková hodnota **PŘED** vyvážením 1,5 mm/sec



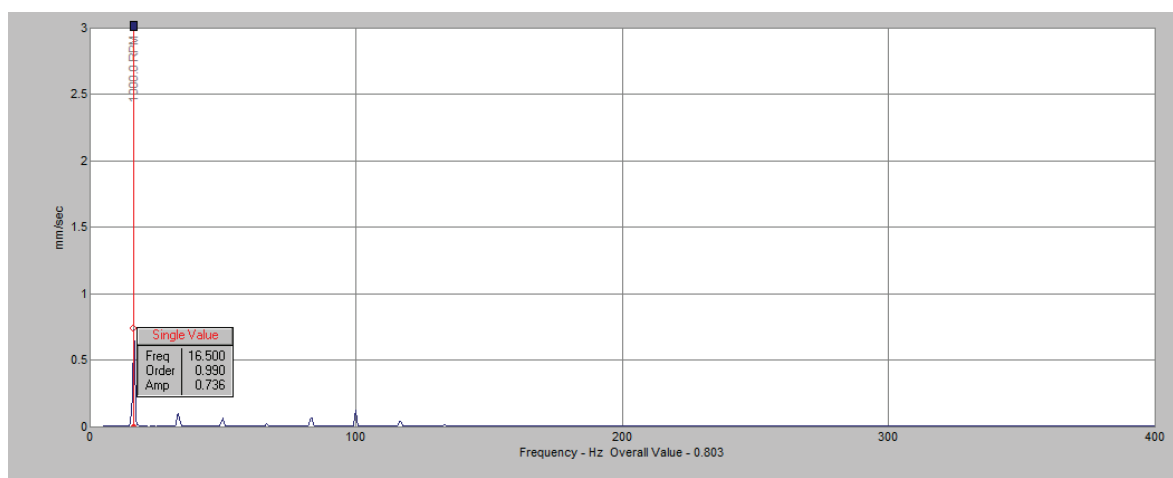
Obr.3 L2H Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz, celková hodnota **PŘED** vyvážením 1,6 mm/sec



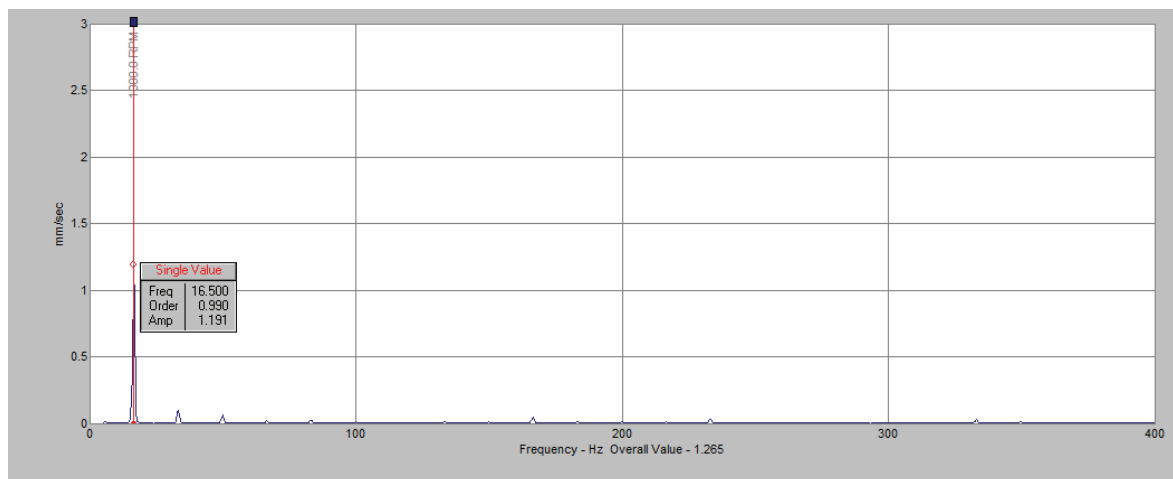
Obr.4 L2V Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz celková hodnota **PŘED** vyvážením 2,3 mm/sec



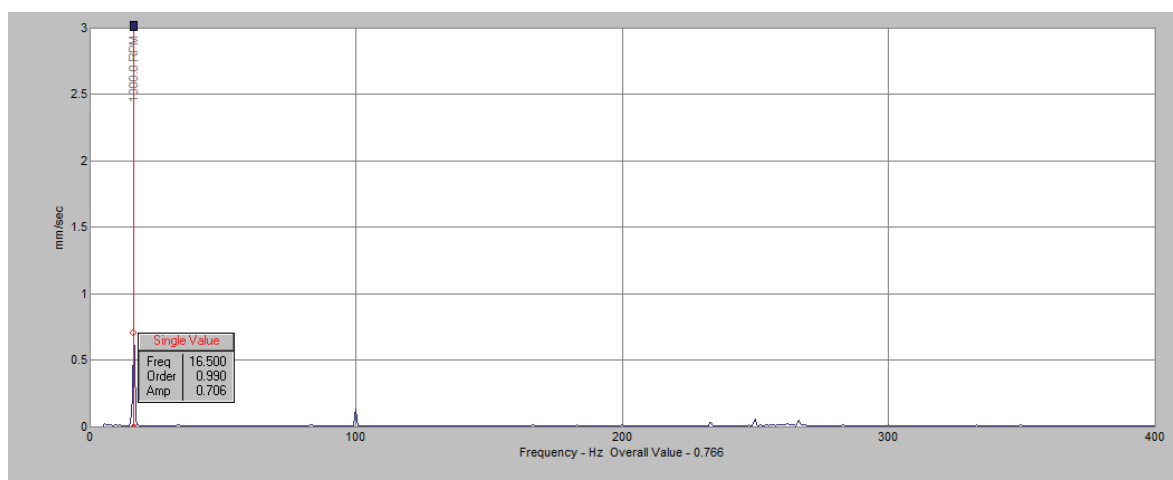
Obr.5 L1H Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz celková hodnota **PO** vyvážením 1,1 mm/sec



Obr.6 L1V Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz celková hodnota **PO** vyvážením 0,73 mm/sec

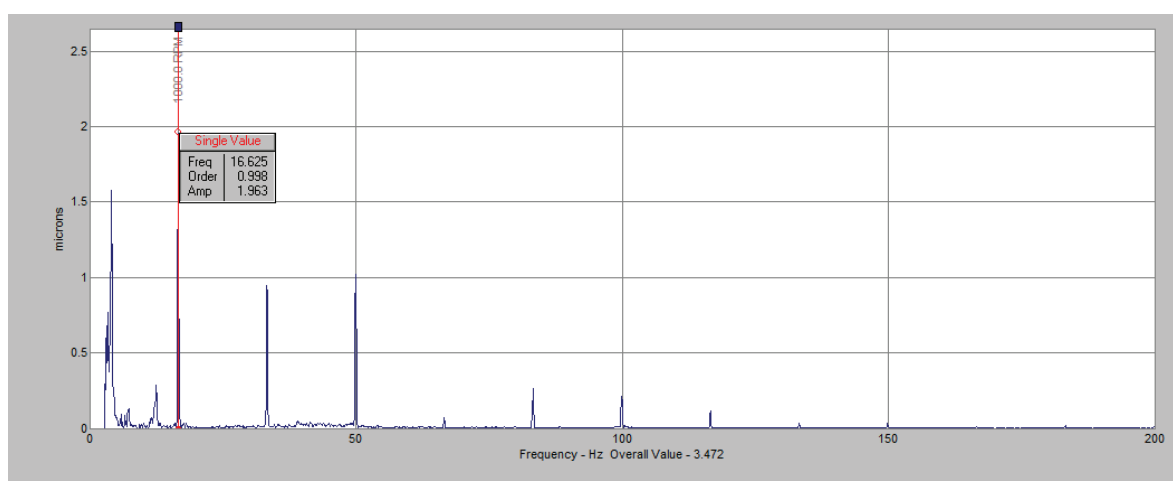


Obr.7 L2H Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz celková hodnota **PO** vyvážením 1,1 mm/sec

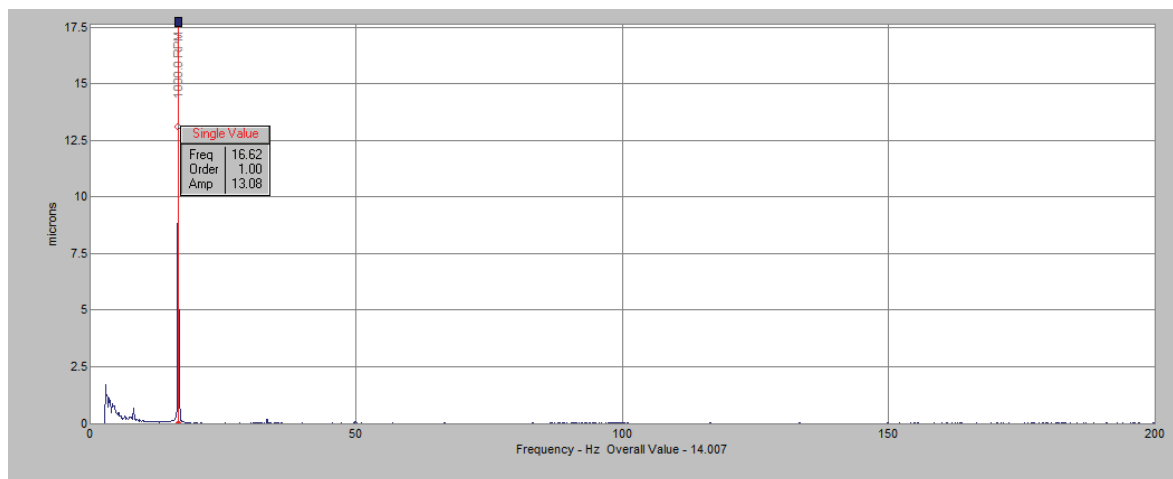


Obr.8 L2V Rychlost vibrací V_{RMS} do 400 Hz celková hodnota **PO** vyvážením 0,70 mm/sec

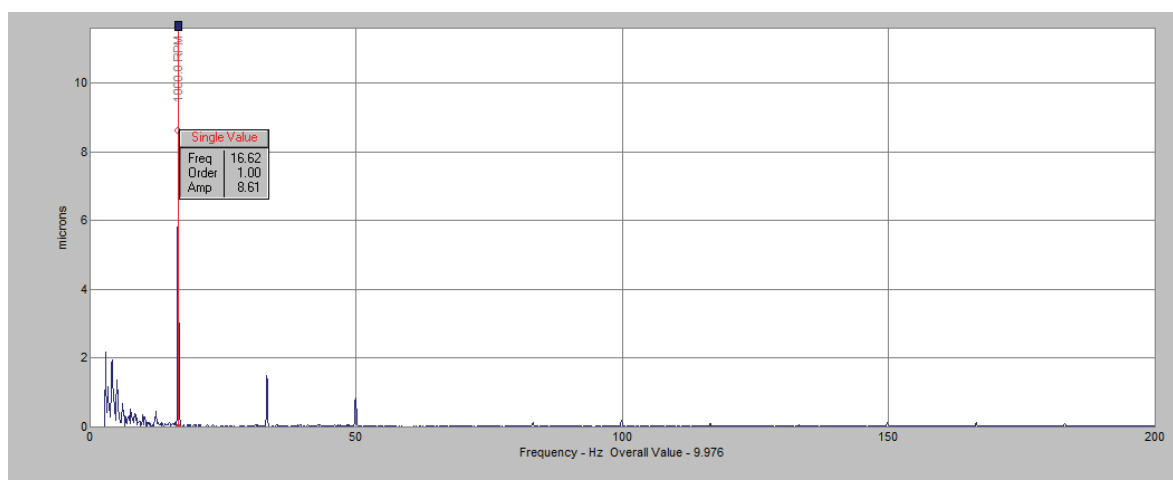
Spektra výchylky vibrací po II. vyvážení v μm . Povoleno 100 μm , po I vyvážení bylo max. 30 μm



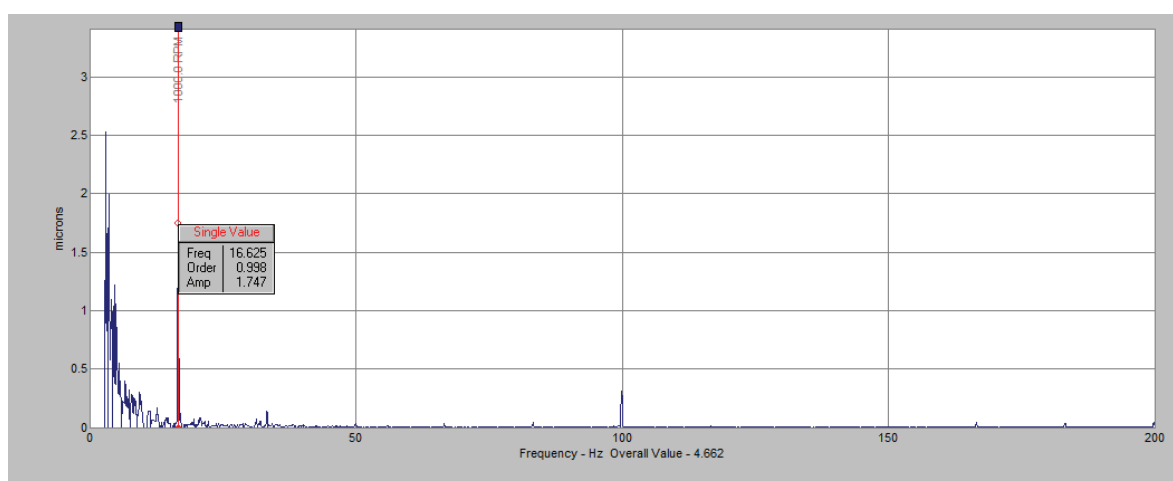
Obr.9 L1H Výchylky vibrací **S p-p** do 200 Hz hodnota na otáčkové frekvenci **PO II.** vyvážení 1,9 μm



Obr.10 L1V Výchyly vibrací **S p-p** do 200 Hz hodnota na otáčkové frekvenci **PO II.** vyvážení 13 μm



Obr.11 L2H Výchyly vibrací **S p-p** do 200 Hz hodnota na otáčkové frekvenci **PO II.** vyvážení 8,6 μm



Obr.12 L2V Výchyly vibrací **S p-p** do 200 Hz hodnota na otáčkové frekvenci **PO II.** vyvážení 1,7 μm

Přílohy: Výpis z norem a doporučení:

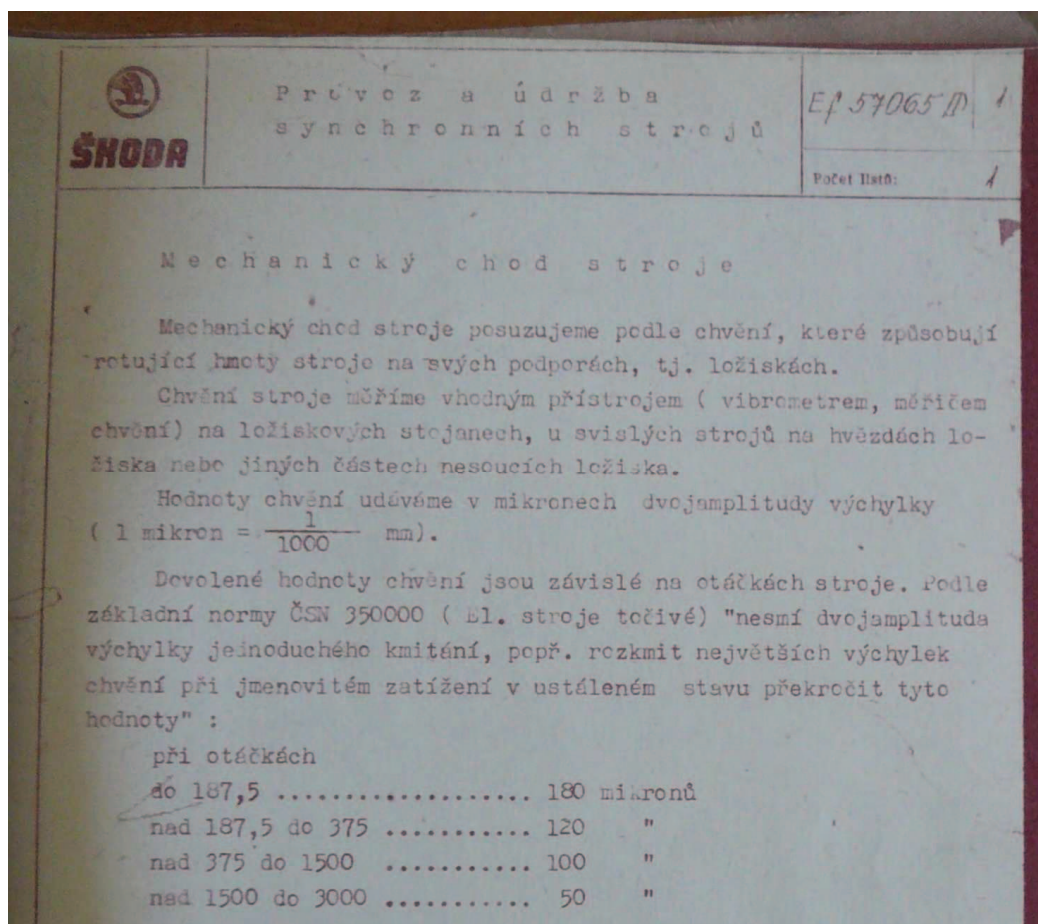
A.Vibrace jsou hodnoceny dle: ČSN 12 2011, TABULKA 3 – typické hranice pásem

Rozhraní pásem	Klas. třída 5 (15-75 kW)	Klas. třída 6 (75-300 kW)
A/B	3,6 mm/s	4,5 mm/s
B/C	9,0 mm/s	11,2 mm/s
C/D	14,0 mm/s	18,0 mm/s

Pásma hodnocení:

- **Pásmo A, Provoz:** v tomto pásmu mají být za obvyklých podmínek vibrace nových přejímaných strojů.
- **Pásmo B, Provoz:** Stroje jejichž vibrace leží v tomto pásmu, mohou být zpravidla provozovány po neomezeně dlouhou dobu.
- **Pásmo C, Oprava:** Stroje jejichž vibrace leží v tomto pásmu, jsou za normálních okolností považovány za neuspokojivé pro dlouhodobý a trvalý provoz. Obecně mohou být stroje za takovýchto podmínek provozovány do té doby, než se nalezne možnost nápravy.
- **Pásmo D, Stop:** Hodnoty vibrací v rámci tohoto pásma jsou za normálních okolností považovány za natolik nebezpečné, že mohou vyvolat poškození stroje.

B. Doporučení výrobce pro K1





Podnik: ŽDB GROUP, a.s.
závod TT VIADRUS
Stroj: EXHAUSTOR CD

Číslo zakázky:
Z09089a
Stran: 3

Zhotovitel:	dif spol. s r.o. ul.1.máje 433, 735 31 Bohumín-Skrěčůň		
Objednatel:	AZ FIN servis,s.r.o., Bezručova 300, 735 93 BOHUMÍN		
Objednávka číslo:	F9/10/1116/SI-zTTV ,Zakázka Z09089a		
Kontaktní osoba:			
Měřicí zařízení:	Analyzátor Microlog	Výr.č.:5229	CMVA 10
	Vyvaž. Reutlinger	Výr.č.:5.701.034/08	
	Snímač	Výr.č.:S3257	CMSS 2200
Druh měření, popis stroje:	Kontrola a dynamického vyvážení ventilátoru		
Datum :	Měření: 16.12.2009	Odesláno: 20.12.2009	
Měřil:	Radim Falc, Václav Slabý		
Schválil:	Radim Falc		

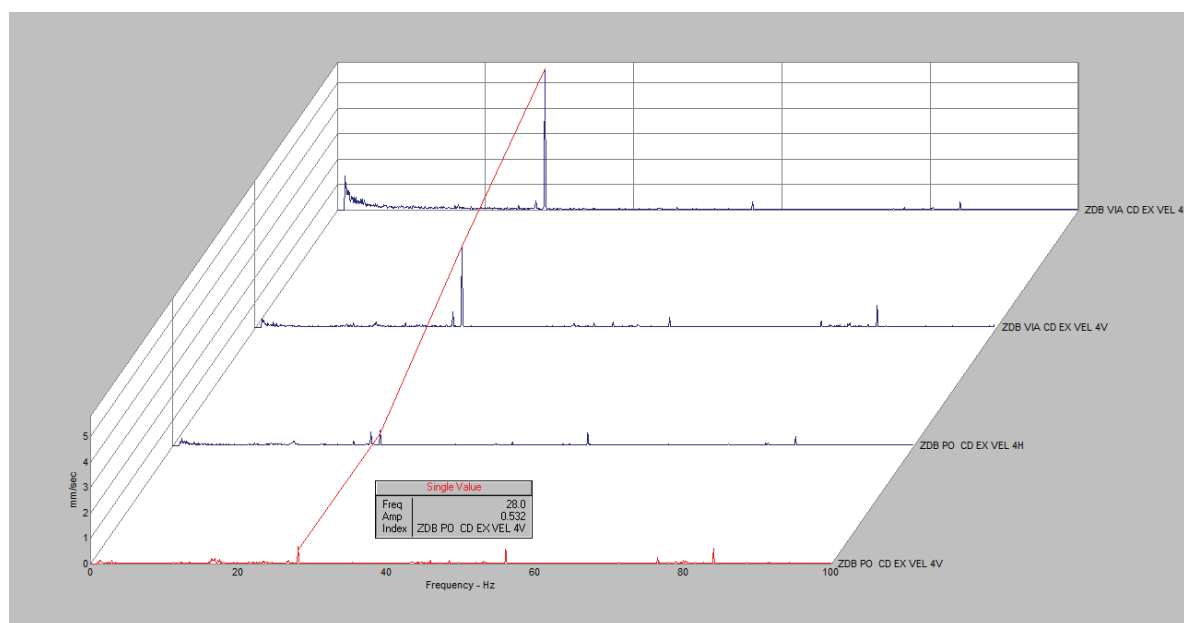
Vibrace	Měřené veličiny	Jednotky	L4 kolo vent			
1.měření před vyvážením	VEL H	mm/sec	6,9			
	VEL V	mm/sec	3,8			
	VEL A	mm/sec				
	ENV	gE				
2.měření po vyvážení	VEL H	mm/sec	1,3			
	VEL V	mm/sec	1,4			
	Zlepšení H	%	81			
	Zlepšení V	%	63			

Závěr:

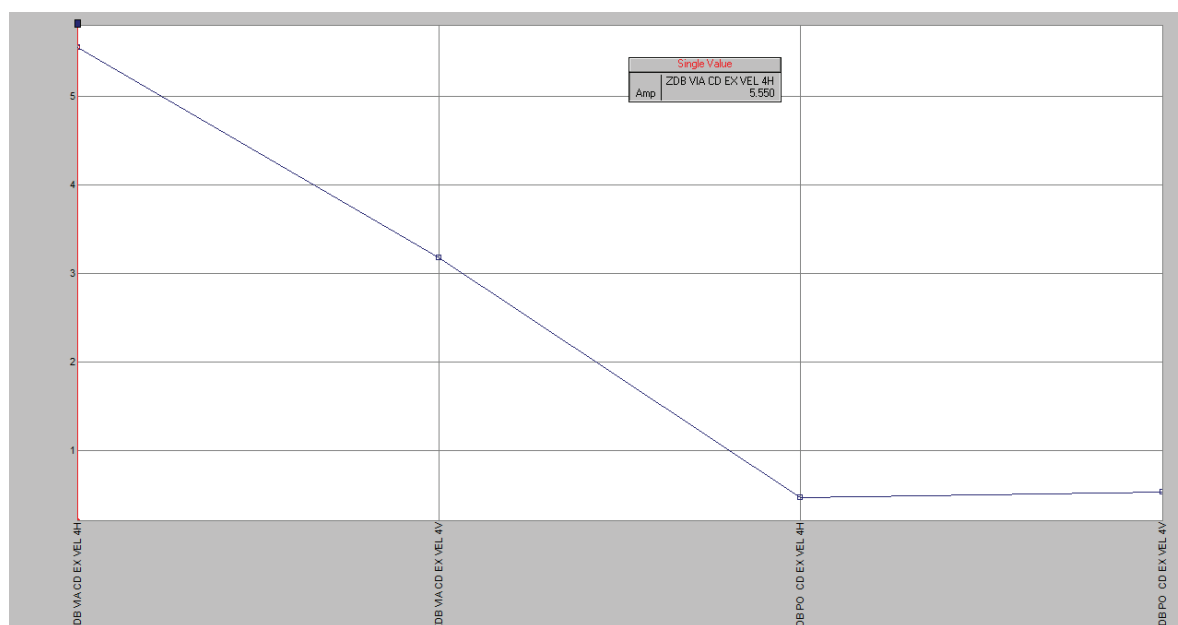
Byla provedena kontrola a vyvážení oběžného kola ventilátoru. Hodnoty vibrací na obou ložiscích vyhovují doporučení ČSN 12 2011 pásma A pro trvalý provoz.

Doporučení: **PROVOZ**

1. Spektra vibrací před a po vyvážení



Obr.1 L3,L4 Rychlost vibrací V_{RMS} do 100 Hz. Hodnota před vyvážením 5,5 mm/s a po 0,53 mm/sec (na otáčkové frekvenci). **Doporučuji PROVOZ**



Obr.2 L3,L4 Totéž co na obr.1, jiné zobrazení. Rychlost vibrací V_{RMS} do 100 Hz. Hodnota před vyvážením 5,5mm/s a po 0,53 mm/sec (na otáčkové frekvenci)

EXHAUSTOR CD

ZDB VIA CD EX VEL 4H	mm/sec	18-JAN-10	6.961
ZDB VIA CD EX VEL 4V	mm/sec	18-JAN-10	3.882
ZDB PO CD EX VEL 4H	mm/sec	18-JAN-10	1.394
ZDB PO CD EX VEL 4V	mm/sec	18-JAN-10	1.457

Obr.3 Výpis naměřených hodnot



Obr.3 Ventilátor EXH CD

2. Přílohy: Výpis z norem a doporučení:

A.Vibrace jsou hodnoceny dle: ČSN 12 2011, TABULKA 3 – typické hranice pásem

Rozhraní pásem	Klas. třída 5 (15-75 kW)	Klas. třída 6 (75-300 kW)
A/B	3,6 mm/s	4,5 mm/s
B/C	9,0 mm/s	11,2 mm/s
C/D	14,0 mm/s	18,0 mm/s

Pásma hodnocení:

- **Pásma A, Provoz:** v tomto pásmu mají být za obvyklých podmínek vibrace nových přejímaných strojů.
- **Pásma B, Provoz:** Stroje jejichž vibrace leží v tomto pásmu, mohou být zpravidla provozovány po neomezeně dlouhou dobu.
- **Pásma C, Oprava:** Stroje jejichž vibrace leží v tomto pásmu, jsou za normálních okolností považovány za neuspokojivé pro dlouhodobý a trvalý provoz. Obecně mohou být stroje za takovýchto podmínek provozovány do té doby, než se nalezne možnost nápravy.
- **Pásma D, Stop:** Hodnoty vibrací v rámci tohoto pásma jsou za normálních okolností považovány za natolik nebezpečné, že mohou vyvolat poškození stroje.